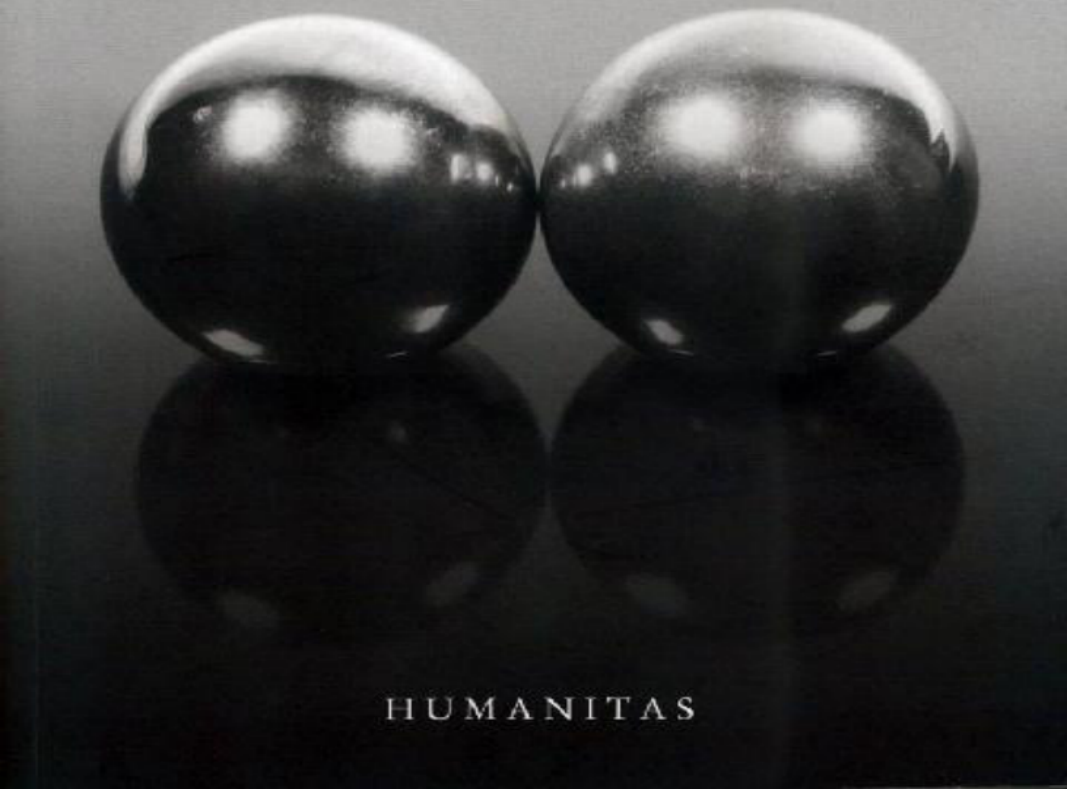
STEPHEN HAWKING

LEONARD MLODINOW

MARELE PLAN



HUMANITAS

STEPHEN HAWKING
LEONARD MLODINOW

MARELE PLAN

Traducere din engleză de
Anca Vişinescu şi Mihai Vişinescu

EDITURA HUMANITAS
2012

Stephen W. Hawking and Leonard Mlodinow
The Grand Design, 2010

CUPRINS

1. Misterul existenţei
2. Domnia legii
3. Ce este realitatea?
4. Istorii alternative
5. Teoria a tot ce există
6. Selectarea universului
7. Miracolul aparent
8. Marele plan
Glosar
Mulţumiri

STEPHEN HAWKING este una dintre cele mai mari personalităţi ştiinţifice ale epocii noastre. Timp de treizeci de ani a fost profesor la Universitatea Cambridge şi a primit numeroase premii şi distincţii. Recent, i-a fost decernată Medalia Prezidenţială a Libertăţii. În afară de cercetările sale din domeniul cosmologiei şi fizicii fundamentale, a publicat cărţi adresate publicului larg: *Scurtă istorie a timpului*, *Visul lui Einstein şi alte eseuri*, *Universul într-o coajă de nucă* şi (împreună cu Leonard Mlodinow) *O mai scurtă istorie a timpului*, toate apărute în traducere românească la Editura Humanitas. Trăieşte la Cambridge, în Anglia.

LEONARD MLODINOW este fizician la Institutul Tehnologic din California (Caltech). Este autorul mai multor bestselleruri şi coscenarist la serialul *Star Trek: The Next Generation.* Trăieşte în South Pasadena, California.

1.
Misterul existenţei

Fiecare dintre noi există doar pentru un scurt răstimp, iar în acest răstimp explorăm doar o mică parte din întregul univers. Oamenii sunt însă fiinţe curioase. Ne punem întrebări, căutăm răspunsuri. Trăind în această lume vastă, care e deopotrivă blândă şi crudă, şi privind imensitatea cerului de deasupra lor, oamenii şi-au pus întotdeauna o mulţime de întrebări: Cum putem înţelege oare lumea în care ne aflăm? Cum se comportă universul? Care e natura realităţii? De unde vin toate acestea? Are nevoie universul de un creator? Mulţi dintre noi nu ne batem prea mult capul cu aceste probleme, dar aproape toţi ne-am pus asemenea întrebări măcar o dată.

În mod tradiţional acestea sunt întrebări pentru filosofi, dar filosofia e moartă. Filosofia nu a ţinut pasul cu dezvoltarea ştiinţei moderne, în special cu fizica. Oamenii de ştiinţă au devenit purtătorii torţei descoperirilor în încercarea de a cunoaşte lumea. Scopul cărţii de faţă este să dea răspunsurile sugerate de descoperirile recente şi de progresele teoretice. Ele ne conduc spre o nouă imagine a universului şi a locului nostru în el, care diferă mult de imaginea tradiţională, ba chiar şi de cea pe care o puteam prezenta cu doar zece-douăzeci de ani în urmă. Şi totuşi, primele schiţe ale noilor idei au apărut acum aproape un secol.

Conform concepţiei tradiţionale despre univers, obiectele se deplasează pe traiectorii bine definite şi au istorii neambigue. Putem preciza poziţia lor exactă la fiecare moment de timp. Deşi această descriere e suficient de bună pentru scopurile vieţii de zi cu zi, pe la 1920 s-a dovedit că imaginea „clasică” nu poate explica acel comportament aparent bizar observat la scara atomică şi subatomică a existenţei. În locul ei a trebuit să fie adoptat un cadru diferit, numit fizică cuantică. Teoriile cuantice s-au dovedit remarcabil de exacte în prezicerea evenimentelor la scară atomică şi subatomică, reproducând în acelaşi timp la scara macroscopică a evenimentelor cotidiene predicţiile vechilor teorii clasice. Cu toate acestea, fizica cuantică şi fizica clasică se bazează pe concepţii foarte diferite privind realitatea fizică.

Teoriile cuantice pot fi formulate în mai multe moduri, dar probabil că cea mai intuitivă descriere a fost dată de Richard (Dick) Feynman, un personaj extrem de pitoresc care lucra la Institutul Tehnologic din California şi era percuţionist la tobe africane bongo într-un bar de striptease din apropiere. Conform lui Feynman, un sistem nu are o singură istorie, ci toate istoriile posibile. Pe măsură ce vom căuta răspunsuri la întrebările noastre, vom explica în detaliu abordarea lui Feynman şi o vom folosi pentru a analiza ideea că însuşi universul nu are o singură istorie, şi nici măcar o existenţă independentă. Pare o idee radicală chiar şi pentru mulţi fizicieni. Într-adevăr, la fel ca multe alte noţiuni din ştiinţa de azi, şi aceasta pare să contrazică bunul-simţ. Dar bunul-simţ se întemeiază doar pe experienţa cotidiană, iar nu pe univers, aşa cum ni-l dezvăluie minunile tehnologiei, acelea care ne permit să privim adânc în interiorul atomului sau înapoi în timp către începuturile universului.

Până la apariţia fizicii moderne se credea că toată cunoaşterea lumii poate fi obţinută prin observaţie directă, că lucrurile sunt ceea ce par a fi, aşa cum le percep simţurile noastre. Succesul spectaculos al fizicii moderne, bazată pe idei precum cea a lui Feynman, care intră în contradicţie cu experienţa cotidiană, a arătat că lucrurile nu stau aşa. Perspectiva naivă asupra realităţii nu e compatibilă cu fizica modernă. Pentru a trata asemenea paradoxuri vom adopta o abordare pe care o numim realism dependent de model. Ea se bazează pe ideea că informaţiile provenind de la organele de simţ sunt interpretate de creierul nostru prin crearea unui model al lumii. Atunci când modelul reuşeşte să explice evenimentele, avem tendinţa să considerăm că modelul, împreună cu elementele şi conceptele care îl alcătuiesc, reprezintă realitatea sau adevărul absolut. Pot exista însă diferite căi de a modela aceeaşi situaţie fizică, fiecare folosind elemente şi concepte fundamental diferite. Dacă două asemenea teorii sau modele fizice prezic aceleaşi evenimente, nu se poate spune că una e mai reală decât alta, ci suntem liberi să folosim modelul care ne convine.

În istoria ştiinţei am descoperit un şir de teorii şi modele tot mai bune, de la Platon la teoria clasică a lui Newton şi până la teoriile cuantice moderne. E firesc să ne întrebăm: va ajunge oare acest şir în cele din urmă la un punct final, la o teorie ultimă a universului, care să includă toate forţele şi să prezică orice observaţie care s-ar putea face, sau vom continua la nesfârşit să găsim teorii tot mai bune, dar niciuna care să nu poată fi apoi îmbunătăţită? Nu avem încă un răspuns definitiv la această întrebare, dar avem un candidat pentru o teorie finală, presupunând că ea există, numită teoria M. Teoria M este singurul model care are toate proprietăţile pe care credem că ar trebui să le aibă o teorie finală, iar ea este teoria pe care se bazează cea mai mare parte a consideraţiilor ce urmează.

Teoria M nu e o teorie în sensul obişnuit al cuvântului. Ea este o întreagă familie de teorii diferite, fiecare dintre ele fiind o bună descriere a observaţiilor doar dintr-un domeniu al situaţiilor fizice. Cam la fel stau lucrurile şi cu o hartă. După cum se ştie, nu putem reprezenta întreaga suprafaţă a Pământului pe o singură hartă. Proiecţia Mercator folosită în hărţi face ca suprafeţele să apară din ce în ce mai mari spre nord sau spre sud, şi nu acoperă Polul Nord şi Polul Sud. Pentru a cartografia fidel întregul Pământ, trebuie să folosim o colecţie de hărţi, fiecare acoperind o regiune limitată. Hărţile se suprapun, iar în porţiunile comune prezintă acelaşi peisaj. La fel stau lucrurile şi cu teoria M. Teoriile din familia teoriei M pot părea foarte diferite, dar ele pot fi privite ca aspecte ale aceleiaşi teorii subiacente. Sunt versiuni ale teoriei aplicabile doar în domenii limitate – de pildă, atunci când unele cantităţi, cum ar fi energia, sunt mici. La fel ca hărţile în proiecţia Mercator care se suprapun, când domeniile diferitelor versiuni se suprapun, ele vor prezice aceleaşi fenomene. Dar, aşa cum nu există o hartă plană care să fie o bună reprezentare a întregii suprafeţe a Pământului, nu există o unică teorie care să fie o bună reprezentare a observaţiilor în toate situaţiile.

Vom arăta cum poate oferi teoria M răspunsuri la problema creaţiei. Conform teoriei M, universul nostru nu e singurul univers. Teoria M prezice că nenumărate universuri au fost create din nimic. Crearea lor nu presupune intervenţia unei fiinţe supranaturale sau a unui zeu, ci aceste universuri multiple apar în chip natural din legile fizicii, sunt predicţii ale ştiinţei. Fiecare univers are numeroase istorii posibile şi numeroase stări posibile la momente ulterioare, cum ar fi cel de faţă, mult după crearea lui. Majoritatea acestor stări vor diferi semnificativ de cea a universului pe care-l observăm, şi nu vor permite pesemne nicio formă de viaţă. Doar foarte puţine vor fi potrivite pentru existenţa unor fiinţe ca noi. Prezenţa noastră selectează prin urmare din această gamă largă numai acele universuri compatibile cu existenţa noastră. Deşi suntem mici şi neînsemnaţi la scara cosmosului, într-un anume sens aceasta face din noi stăpânii creaţiei.

Pentru a înţelege universul la nivelul cel mai profund, trebuie să ştim nu numai *cum* se comportă universul, dar şi *de ce*.

De ce există ceva mai degrabă decât nimic?
De ce existăm?
De ce acest set particular de legi, şi nu altele?

Aceasta e Întrebarea Ultimă privind Viaţa, Universul şi Tot ce Există. Vom încerca să dăm un răspuns în această carte. Spre deosebire de răspunsul din *Ghidul autostopistului galactic,* al nostru nu va fi „42”.{1}

2.
Domnia legii

Lupul Skoll va înspăimânta Luna
Zburând spre Pădurea Durerii:
Lupul Hati, neam cu Hridvitnir;
Va porni în urmărirea Soarelui.

„Grimnismal”, *Edda*

În mitologia vikingilor, Skoll şi Hati hăituiesc Soarele şi Luna. Când lupii îl prind pe unul sau pe altul, are loc o eclipsă. Atunci când se întâmplă asta, oamenii de pe pământ fac cât mai mult zgomot ca să sperie lupii şi să salveze Luna sau Soarele. Mituri asemănătoare se întâlnesc şi în alte culturi. După un timp, oamenii trebuie să fi observat că Luna şi Soarele apar din nou după eclipsă, indiferent cât tărăboi au făcut. Ei trebuie să fi observat şi că eclipsele nu au loc la întâmplare: ele se repetă cu regularitate. Aceste regularităţi au fost evidente mai cu seamă pentru eclipsele de Lună şi au permis vechilor babilonieni să le prezică destul de exact, deşi nu-şi dădeau seama că Pământul era acela care obtura lumina Soarelui. Eclipsele de Soare erau mai greu de prevăzut, fiindcă sunt vizibile doar în culoare cu o lăţime de aproximativ 50 km. Şi totuşi, odată sesizate regularităţile, a devenit limpede că eclipsele nu depindeau de capriciile arbitrare ale fiinţelor supranaturale, ci erau guvernate de legi.

În ciuda unor prime succese în prezicerea mişcării corpurilor cereşti, cele mai multe evenimente din natură păreau imposibil de anticipat pentru strămoşii noştri. Erupţiile vulcanice, cutremurele, furtunile, epidemiile, unghiile încarnate, toate păreau să apară fără vreo cauză sau vreo regularitate vizibile. În timpurile de demult era firesc să pui acţiunile violente ale naturii pe seama unui întreg panteon de divinităţi răutăcioase sau malefice. Calamităţile erau privite adesea drept un semn că cineva îi supărase pe zei. De exemplu, pe la 5600 î.Cr. a erupt vulcanul Mazama din Oregon, iar vreme de mai mulţi ani au căzut din cer pietre şi cenuşă incandescentă, pentru ca ploile ulterioare să umple craterul vulcanului, formând ceea ce numim azi Lacul Crater. Indienii Klamath din Oregon au o legendă care se

potriveşte foarte bine cu toate detaliile geologice ale evenimentului, dar îi adaugă un element dramatic, spunând că un om a provocat catastrofa. Obsesia culpabilităţii îi poate face mereu pe oameni să dea vina pe ei înşişi. Conform legendei, Llao, stăpânul Lumii de Jos, s-a îndrăgostit de frumoasa fată a şefului tribului Klamath. Ea l-a refuzat, iar, drept răzbunare, Llao a încercat să distrugă tribul prin foc. Din fericire, spune legenda, Skell, stăpânul Lumii de Sus, s-a îndurat de oameni şi s-a luptat cu omologul lui din subteran. În cele din urmă, rănit, Llao a căzut pe muntele Mazama făcând să apară o groapă uriaşă, umplută apoi cu apă.

Necunoaşterea legilor naturii i-a condus în trecut pe oameni să născocească zei răspunzători de toate aspectele vieţii. Existau zei ai războiului şi dragostei, ai Soarelui, Pământului şi cerului, ai oceanelor şi fluviilor, ai ploii şi tunetelor, ba chiar şi ai vulcanilor şi ai cutremurelor. Dacă zeii erau mulţumiţi, omenirea avea parte de vreme bună şi de pace, fiind ferită de dezastre naturale şi boli. Dacă se supărau, apăreau seceta, războiul, ciuma şi epidemiile. Legătura dintre cauză şi efect în natură nefiind vizibilă, aceşti zei păreau învăluiţi în mister, iar oamenii se aflau la mila lor. Dar, odată cu Thales din Milet (cca 624 – cca 546 î.Cr.), lucrurile au început să se schimbe. A încolţit ideea că natura urmează principii coerente care ar putea fi descifrate. Aşa a început îndelungatul proces de înlocuire a ideii de domnie a zeilor cu perspectiva unui univers guvernat de legi ale naturii şi creat conform unui plan pe care vom izbuti cândva să-l înţelegem.

Privită la scara istoriei omenirii, cercetarea ştiinţifică e o îndeletnicire foarte recentă. Specia noastră, *Homo sapiens*, a apărut în Africa subsahariană acum vreo 200.000 de ani. Scrierea a fost inventată abia pe la 7000 î.Cr., în societăţile axate pe cultura cerealelor. (Unele dintre cele mai vechi inscripţii se referă la raţia zilnică de bere alocată fiecărui cetăţean.) Cele mai vechi documente scrise ale marii civilizaţii greceşti datează din secolul IX î.Cr., dar ea îşi atinge apogeul, „perioada clasică”, câteva secole mai târziu, începând de pe la 500 î.Cr. Conform lui Aristotel (384 – 322 î.Cr.), cam pe-atunci a susţinut Thales ideea că lumea poate fi înţeleasă, că fenomenele complexe din jurul nostru pot fi reduse la principii simple şi explicate fără a recurge la mitologie sau teologie.

Despre Thales se spune că a fost primul care a prezis o eclipsă solară, în 585 î.Cr., dar marea precizie a acelei predicţii a fost probabil o chestiune de şansă. El rămâne o figură obscură, care n-a lăsat în urmă vreo scriere. A trăit într-unul din centrele intelectuale ale regiunii numită Ionia, colonizată de greci şi exercitând o influenţă ce s-a întins din Turcia de azi până în Italia. Ştiinţa ioniană s-a orientat către descoperirea unor legi fundamentale care să explice fenomenele din natură, reprezentând un moment de răscruce în istoria ideilor.

Abordarea ei era una raţională, iar în multe cazuri a dus la concluzii surprinzător de asemănătoare celor obţinute astăzi cu mijloace mult mai sofisticate. Ea a reprezentat un început glorios, dar, cu trecerea secolelor, o mare parte din ştiinţa ioniană a căzut în uitare – pentru a fi apoi redescoperită sau reinventată, în unele cazuri de mai multe ori.

Legenda spune că prima formulare matematică a ceea ce am numi azi o lege a naturii a fost dată de un ionian pe nume Pitagora (cca 580 – cca 490 î.Cr.), vestit pentru teorema care îi poartă numele: pătratul ipotenuzei (latura cea mai lungă) a unui triunghi dreptunghic este egală cu suma pătratelor celorlalte două laturi. Se mai spune că Pitagora a descoperit relaţia numerică dintre lungimea corzilor folosite la instrumentele muzicale şi combinaţiile armonice ale sunetelor. În limbajul de azi, am spune că frecvenţa unei corzi întinse – numărul de vibraţii pe secundă – este invers proporţională cu lungimea corzii. În plan concret, asta explică de ce chitara bas trebuie să aibă corzile mai lungi decât chitara obişnuită. Probabil că descoperirea nu-i aparţine lui Pitagora – după cum nici teorema care-i poartă numele n-a descoperit-o el –, dar este evident că o relaţie între lungimea corzii şi înălţimea sunetului era cunoscută pe vremea lui. În acest caz, am putea considera acea formulă matematică simplă drept primul exemplu pentru ceea ce numim acum fizică teoretică.

În afara legii lui Pitagora privind corzile, singurele legi ale fizicii cunoscute corect de antici au fost trei legi ale lui Arhimede (cca 287 – cca 212 î.Cr.), de departe cel mai strălucit fizician al Antichităţii. În termenii de azi, legea pârghiilor arată că forţe mici pot ridica greutăţi mari, deoarece pârghia amplifică forţa cu un factor egal cu raportul distanţelor faţă de punctul de sprijin al pârghiei. Legea plutirii afirmă că orice obiect scufundat într-un fluid va fi împins în sus cu o forţă egală cu greutatea fluidului dislocuit. Legea reflexiei spune că unghiul format de un fascicul luminos incident şi o oglindă este egal cu unghiul dintre oglindă şi fasciculul reflectat. Arhimede nu le-a numit legi, nici nu le-a explicat referindu-se la observaţii şi măsurători. El le-a tratat ca şi cum ar fi fost pure teoreme matematice, într-un sistem axiomatic foarte asemănător celui pe care l-a creat Euclid pentru geometrie.

Pe măsură ce se răspândea influenţa ioniană, apăreau alte idei care spuneau că universul posedă o ordine internă, ordine ce putea fi înţeleasă prin observaţie şi raţionament. Anaximandru (cca 610 – cca 546 î.Cr.), prieten şi pesemne discipol al lui Thales, susţinea că, din moment ce copiii sunt neajutoraţi şi neputincioşi la naştere, dacă primul om care a apărut pe lume ar fi fost copil, el n-ar fi putut supravieţui. În ceea ce pare să fi fost prima trimitere la evoluţie, Anaximandru s-a gândit că oamenii trebuie să fi evoluat din alte animale ai căror pui erau ceva mai robuşti. În Sicilia, Empedocle (cca

490 – cca 430 î.Cr.) a studiat un instrument numit ceas cu apă. Folosit şi ca polonic, el constă dintr-o sferă cu gât deschis şi mici găuri la bază. Introdus în apă, se va umple, iar, dacă i se acoperă gâtul, sfera poate fi scoasă fără ca apa din ea să curgă prin găuri. Empedocle a observat că, atunci când se acoperă gâtul înainte de imersiune, sfera nu se umple. El a ajuns la concluzia că ceva invizibil trebuie să împiedice apa să intre în sferă prin găuri – adică a descoperit substanţa materială pe care o numim aer.

Cam în acelaşi timp, într-o colonie ioniană din nordul Greciei, Democrit (cca 460 – cca 370 î.Cr.) a meditat la ce se întâmplă dacă tai sau spargi un obiect în bucăţi. El susţinea că procesul nu poate continua la nesfârşit. A postulat că totul, inclusiv fiinţele vii, este alcătuit din particule fundamentale care nu mai pot fi tăiate sau sparte. El a numit aceste ultime particule atomi, de la adjectivul grecesc care înseamnă „imposibil de tăiat". Democrit credea că orice fenomen material e produsul ciocnirii atomilor. Din perspectiva lui, numită atomism, toţi atomii se mişcă prin spaţiu, iar, dacă nu sunt perturbaţi, se deplasează la nesfârşit în linie dreaptă. Astăzi, această idee se numeşte legea inerţiei.

Ideea revoluţionară că suntem doar nişte locuitori obişnuiţi ai universului, nu fiinţe privilegiate aflate în centrul lui, a fost pentru prima dată susţinută de Aristarh (cca 310 – cca 230 î.Cr.), unul dintre ultimii savanţi ionieni. A supravieţuit doar unul dintre calculele sale, o complexă analiză geometrică a observaţiilor făcute de el asupra dimensiunii umbrei Pământului pe Lună în timpul unei eclipse lunare. Din datele obţinute a tras concluzia că Soarele trebuie să fie mult mai mare decât Pământul. Inspirat probabil de ideea că obiectele mici trebuie să se rotească în jurul celor mari, şi nu invers, el a fost primul care a susţinut că Pământul nu e centrul sistemului nostru planetar, ci că, împreună cu celelalte planete, se roteşte în jurul Soarelui. Mai era de făcut doar un mic pas de la ideea că Pământul este doar una dintre planete până la ideea că nici Soarele nostru nu are un statut privilegiat. Aristarh bănuia că aşa stau lucrurile şi credea că stelele pe care le vedem pe cerul nopţii nu sunt decât sori îndepărtaţi.

Şcoala ioniană a fost doar una dintre numeroasele şcoli de filosofie greceşti, cu orientări diferite, uneori contrare. Din păcate, perspectiva ioniană asupra naturii – natura poate fi explicată prin legi generale şi redusă la un set simplu de principii – a exercitat o influenţă puternică doar vreme de câteva secole. Unul dintre motive este acela că teoriile ioniene păreau adesea să nu lase loc pentru noţiunile de liber-arbitru sau de scop, ori pentru ideea că zeii intervin în treburile lumii. Aceste omisiuni surprinzătoare i-au tulburat profund pe mulţi gânditori greci, aşa cum se întâmplă şi cu mulţi oameni din zilele noastre. De exemplu, filosoful Epicur (341-270 î.Cr.) s-a opus atomismului pe

principiul că „este mai bine să te laşi călăuzit de miturile despre zei decât să devii «sclavul» destinului despre care vorbesc filosofii naturii”. Aristotel a respins de asemenea noţiunea de atom, fiindcă nu putea accepta faptul că oamenii sunt alcătuiţi din obiecte neînsufleţite. Ideea ioniană că omul nu e centrul universului a fost un moment de răscruce în înţelegerea cosmosului, dar ea s-a pierdut şi n-a mai fost reluată sau general acceptată până la Galilei, aproape douăzeci de secole mai târziu.

Cu toate că unele speculaţii ale vechilor greci privind natura au fost pătrunzătoare, cele mai multe dintre ideile lor nu sunt acceptabile ştiinţific în timpurile moderne, întâi de toate, faptul că nu inventaseră metoda ştiinţifică a făcut ca unele dintre teoriile lor să nu fi fost elaborate cu scopul de a fi testate experimental. Astfel, dacă un învăţat pretindea că un atom se mişcă în linie dreaptă până se ciocneşte de un al doilea atom, iar alt învăţat pretindea că se mişcă în linie dreaptă până se ciocneşte de un ciclop, nu exista o cale obiectivă de a tranşa disputa. De asemenea, nu se făcea o deosebire netă între legile fizicii şi cele umane. În secolul V î.Cr., de pildă, Anaximandru scria că toate lucrurile provin dintr-o substanţă primordială, iar apoi se întorc la ea, „căci ele trebuie să dea socoteală unele altora pentru nedreptatea făcută”. Conform filosofului ionian Heraclit (cca 535 – cca 475 î.Cr.), Soarele se comportă aşa cum o face fiindcă altminteri zeiţa dreptăţii l-ar doborî. Câteva sute de ani mai târziu stoicii, adepţii unei şcoli greceşti de filosofie apărută în secolul III î.Cr., făceau distincţia între codurile de legi ale oamenilor şi legile naturii, dar includeau acele reguli de conduită umană pe care le considerau universale – ca venerarea zeilor şi supunerea faţă de părinţi – în categoria legilor naturii. Invers, ei prezentau adesea procese fizice în termeni juridici, şi credeau că e necesară aplicarea unor constrângeri, chiar dacă obiectele care trebuiau să se „supună” erau neînsufleţite. Dacă vi se pare că e greu să-i faci pe oameni să respecte codul rutier, imaginaţi-vă că vă apucaţi să convingeţi un asteroid să se mişte de-a lungul unei elipse.

Această tradiţie a continuat să-i influenţeze pe gânditori încă multe veacuri. Filosoful creştin Toma de Aquino (cca 1225–1274) a adoptat această perspectivă şi a folosit-o pentru a demonstra existenţa lui Dumnezeu: „Este limpede că [obiectele neînsufleţite] îşi ating scopul nu din întâmplare, ci în chip voit. […] Există prin urmare o fiinţă inteligentă graţie căreia fiecare lucru din natură e rânduit pentru scopul său.” Chiar şi în secolul XVI, marele astronom german Johannes Kepler (1571–1630) credea că planetele au percepţii senzoriale şi urmează conştient legile de mişcare pe care le-au înţeles cu „mintea” lor.

Ideea că legile naturii trebuie respectate în mod deliberat reflectă

accentul pus de antici pe întrebarea *de ce* natura se comportă aşa cum se comportă, iar nu pe întrebarea *cum* se comportă ea. Aristotel a fost unul dintre cei mai importanţi exponenţi ai acestei abordări, respingând ideea de ştiinţă bazată în principal pe observaţie. Măsurătorile precise şi calculele matematice erau oricum dificile în acele vremuri. Notaţia zecimală a numerelor, pe care o găsim atât de comodă în aritmetică, datează abia de pe la anul 700, când indienii au făcut primii paşi pentru ca aceasta să devină un instrument puternic. Simbolurile pentru plus sau minus nu au apărut până în secolul XV. Nici semnul egal, nici ceasuri care să măsoare secunda nu au existat până în secolul XVI.

Aristotel nu considera însă că problemele legate de măsurători şi calcule erau piedici în dezvoltarea unei fizici care să facă predicţii cantitative, ci părea să nu aibă nevoie de măsurători şi calcule. Aristotel şi-a clădit fizica pe principii care îl atrăgeau la nivel pur intelectual. A eliminat faptele care îi displăceau şi şi-a concentrat eforturile asupra motivelor pentru care lucrurile se întâmplă, investind relativ puţină energie în prezentarea detaliată a ce anume se întâmplă. Aristotel şi-a ajustat concluziile doar atunci când contradicţiile flagrante cu observaţia nu mai puteau fi ignorate. Aceste ajustări erau adesea explicaţii ad-hoc care mai curând ascundeau contradicţiile. Astfel, oricât de mult se abătea teoria sa de la realitate, el putea întotdeauna s-o modifice suficient cât să pară că a eliminat contradicţia. De exemplu, în teoria sa privind mişcarea, viteza căderii libere a corpurilor era proporţională cu greutatea lor. Pentru a explica faptul că aceste obiecte îşi sporesc viteza pe măsură ce cad, el a inventat un nou principiu – corpurile acţionează mai vioi, şi deci accelerează, atunci când se apropie de locul lor normal de repaus, un principiu care astăzi ni se pare mai potrivit pentru descrierea comportamentului unor oameni decât pentru cel al obiectelor neînsufleţite. Deşi teoriile lui Aristotel aveau de cele mai multe ori o slabă valoare de predicţie, perspectiva sa asupra ştiinţei a dominat gândirea occidentală timp de aproape două mii de ani.

Continuatorii creştini ai grecilor au respins ideea că universul e condus de legi naturale indiferente. Ei au respins de asemenea ideea că oamenii nu ocupă un loc privilegiat în univers. Deşi în Evul Mediu n-a apărut niciun sistem filosofic coerent, tema comună a fost aceea că universul este jucăria lui Dumnezeu, iar religia merită mult mai mult să fie studiată decât fenomenele naturii. În 1277, Etienne Tempier, episcopul Parisului, a publicat la indicaţia papei Ioan al XXI-lea o listă cu 219 erori sau erezii care trebuiau condamnate. Printre erezii se afla şi ideea că natura s-ar supune unor legi, deoarece asta ar intra în contradicţie cu atotputernicia lui Dumnezeu. E interesant de observat că papa Ioan a fost ucis de efectele legii gravitaţiei câteva luni mai

târziu, când acoperişul palatului a căzut peste el.

Noţiunea modernă de lege a naturii a apărut în secolul XVII. Kepler pare să fi fost primul om de ştiinţă care a înţeles termenul în sensul modern, deşi, după cum am mai spus, el a păstrat o perspectivă animistă asupra obiectelor fizice. Galilei (1564–1642) nu a folosit termenul de „lege" în cea mai mare parte a lucrărilor sale ştiinţifice (dar el apare în unele traduceri ale lor). Indiferent dacă a folosit sau nu cuvântul, Galilei a dezvăluit multe legi şi a pledat pentru principii importante potrivit cărora observaţia este fundamentul ştiinţei, iar scopul ştiinţei e să studieze relaţiile cantitative dintre fenomenele fizice. Omul care a formulat însă prima dată explicit şi riguros conceptul de lege a naturii aşa cum îl înţelegem astăzi a fost René Descartes (1596-1650).

Descartes credea că toate fenomenele fizice trebuie explicate prin ciocnirile maselor în mişcare, guvernate de trei legi – precursoarele faimoaselor legi ale mişcării formulate de Newton. El susţinea că aceste legi sunt valabile pretutindeni şi oricând, şi afirma explicit că respectarea lor nu implică faptul că acele corpuri în mişcare ar fi însufleţite. Descartes a înţeles de asemenea importanţa a ceea ce noi numim astăzi „condiţii iniţiale". Acestea descriu starea unui sistem asupra căruia căutăm să facem predicţii la începutul intervalului de timp considerat. Cu un set dat de condiţii iniţiale, legile naturii determină evoluţia în timp a unui sistem, dar, fără un set de condiţii iniţiale, evoluţia nu poate fi precizată. Dacă, de exemplu, la momentul zero un porumbel lasă să cadă ceva fix deasupra noastră, traiectoria acestui obiect în cădere este determinată de legile lui Newton. Rezultatul va fi cu totul diferit dacă la momentul zero porumbelul stă liniştit pe un cablu telefonic sau dacă zboară cu 30 de kilometri pe oră. Pentru a aplica legile fizicii trebuie să cunoaştem cum a început sistemul, sau cel puţin care a fost starea sa la un moment dat. (Putem folosi legile şi pentru a urmări evoluţia sistemului înapoi în timp.)

Odată cu reînnoirea credinţei în existenţa legilor naturii au venit şi încercările de reconciliere a acestor legi cu noţiunea de Dumnezeu. Conform lui Descartes, Dumnezeu ar putea modifica după dorinţa lui adevărul sau falsitatea unor afirmaţii care ţin de etică sau ale unor teoreme matematice, dar nu şi natura. El credea că Dumnezeu a binecuvântat legile naturii, dar nu le-a putut alege, ci le-a impus pentru că legile pe care le cunoaştem sunt singurele posibile. Aceasta părea să însemne o ştirbire a autorităţii lui Dumnezeu, însă Descartes s-a eschivat spunând că legile sunt de neschimbat fiindcă reflectă natura intrinsecă a lui Dumnezeu. Dacă ar fi adevărat, ne-am putea gândi că Dumnezeu a avut de ales în momentul creaţiei între mai multe lumi, fiecare corespunzând unui set diferit de condiţii iniţiale, dar Descartes nega şi această posibilitate. Indiferent care a fost

dispunerea materiei la începutul universului, susţinea el, în timp ar fi apărut oricum o lume identică cu a noastră. Mai mult, după ce Dumnezeu a iniţiat lumea, a lăsat-o complet singură.

O poziţie asemănătoare (cu unele excepţii) a fost adoptată şi de Isaac Newton (1643-1727). Newton este cel considerat în general părintele conceptului modern de lege ştiinţifică, prin cele trei legi ale mişcării şi prin legea gravitaţiei, care explică orbitele Pământului, Lunii şi planetelor, precum şi fenomene cum sunt mareele. Cele câteva ecuaţii ale sale, şi cadrul matematic complex pe care l-am dedus de atunci din acestea, se învaţă şi astăzi şi sunt folosite ori de câte ori un arhitect proiectează o clădire, un inginer proiectează o maşină sau un fizician calculează traiectoria unei rachete destinate să ajungă pe Marte. După cum spunea poetul Alexander Pope:

> *Natura şi legile Naturii zăceau ascunse în beznă:*
> *Dumnezeu a spus* Să fie Newton! *şi s-a făcut lumină.*

Astăzi, majoritatea oamenilor de ştiinţă ar spune că o lege a naturii este o regulă care se bazează pe o regularitate observată şi oferă predicţii care merg dincolo de situaţiile nemijlocite pe care se bazează. De pildă, am putea să observăm că Soarele răsare la est în fiecare dimineaţă şi să postulăm legea „Soarele răsare întotdeauna la est". Aceasta e o generalizare care merge dincolo de observaţiile noastre limitate privind răsăritul Soarelui, şi face predicţii testabile asupra viitorului. Pe de altă parte, o afirmaţie de genul „Toate computerele din acest departament sunt negre" nu este o lege a naturii, fiindcă se referă numai la computerele dintr-un departament şi nu face predicţii de genul „Dacă departamentul meu va cumpăra un computer nou, acesta va fi negru".

Semnificaţia pe care o dăm termenului de „lege a naturii" e subiectul unei dezbateri aprinse între filosofi şi e o problemă mai subtilă decât pare la prima vedere. De pildă, filosoful John W. Carroll a comparat propoziţia „Toate sferele de aur au un diametru mai mic de un kilometru" cu propoziţia „Toate sferele de uraniu-235 au un diametru mai mic de un kilometru". Observaţiile pe care le facem asupra lumii ne spun că nu există o sferă de aur mai mare de un kilometru, şi putem fi aproape siguri că nici nu se va găsi vreodată. Totuşi, nu avem vreun motiv să credem că o asemenea sferă n-ar putea exista, iar astfel această propoziţie nu e considerată o lege. Pe de altă parte, propoziţia „Toate sferele de uraniu-235 au un diametru mai mic de un kilometru" poate fi considerată o lege a naturii, deoarece conform celor cunoscute din fizica nucleară, dacă o sferă de uraniu-235 ajunge la un diametru mai mare de 15 cm, ea se distruge pe sine însăşi printr-o explozie nucleară. Suntem aşadar siguri că o

asemenea sferă nu există. (Şi n-ar fi o idee bună să încerci să faci una!) Această deosebire e semnificativă, deoarece arată că nu toate generalizările noastre pot fi considerate legi ale naturii şi că cele mai multe legi ale naturii aparţin unui sistem mai vast de legi interconectate.

În ştiinţa modernă legile naturii sunt de regulă exprimate matematic. Ele pot fi exacte sau aproximative, dar trebuie să se aplice fără excepţie – dacă nu în mod universal, cel puţin în cadrul unui set de condiţii precizat. De pildă, ştim că legile lui Newton trebuie modificate dacă obiectele se deplasează cu viteze apropiate de viteza luminii. Cu toate acestea, considerăm că legile lui Newton rămân în continuare legi, deoarece sunt valabile cu o foarte bună aproximaţie în condiţiile lumii obişnuite, unde vitezele cu care avem de-a face sunt foarte departe de viteza luminii.

Dacă natura e guvernată de legi, se pun trei întrebări:

1. Care este originea legilor?
2. Există excepţii de la legi, de pildă miracole?
3. Există un singur set de legi posibile?

Aceste întrebări importante au fost puse în diferite moduri de oameni de ştiinţă, filosofi şi teologi. Răspunsul tradiţional la prima întrebare – răspunsul lui Kepler, Galilei, Descartes şi Newton – a fost că legile sunt creaţia lui Dumnezeu. Răspunsul însă nu e decât o definiţie a lui Dumnezeu ca întruchipare a legilor naturii. Dacă nu-l înzestrăm pe Dumnezeu şi cu alte însuşiri, de pildă aceea de a fi Dumnezeul Vechiului Testament, apelul la Dumnezeu în răspunsul la prima întrebare nu face decât să înlocuiască un mister cu altul. Astfel, dacă îl implicăm pe Dumnezeu în răspunsul la prima întrebare, adevărata problemă apare la a doua întrebare: Există miracole, excepţii de la legi?

Opiniile legate de răspunsul la a doua întrebare diferă mult. Platon şi Aristotel, cei mai influenţi gânditori ai Greciei antice, au susţinut că nu pot exista excepţii de la legi. Din perspectivă biblică însă, Dumnezeu nu numai că a creat legile, dar poate fi rugat şi să facă excepţii – să-i vindece pe bolnavii incurabili, să curme prematur seceta sau să reintroducă crichetul între disciplinele olimpice. Spre deosebire de Descartes, aproape toţi gânditorii creştini susţineau că Dumnezeu trebuie să poată suspenda legile pentru a înfăptui miracole. Până şi Newton credea într-un fel de miracole. El se gândea că orbitele planetelor sunt instabile din cauza atracţiei gravitaţionale dintre planete, iar că aceasta ar produce perturbaţii asupra orbitelor, care cu timpul ar face ca planetele fie să cadă pe Soare, fie să părăsească sistemul solar. Dumnezeu trebuie să restabilească orbitele, credea el,

sau „să întoarcă ceasul ceresc, ca nu cumva acesta să se oprească”. Pierre-Simon, marchiz de Laplace (1749–1827), cunoscut îndeobşte ca Laplace, a susţinut însă că perturbaţiile ar trebui să fie periodice, caracterizate deci prin cicluri repetate, iar nu cumulative. Sistemul solar s-ar restabili astfel singur şi n-ar mai fi nevoie de intervenţia divină pentru a explica de ce a supravieţuit până în zilele noastre.

Se consideră că Laplace a fost primul care a postulat clar determinismul ştiinţific: dată fiind starea universului la un moment dat, un set complet de legi determină în întregime atât viitorul, cât şi trecutul. Aceasta ar exclude posibilitatea miracolelor sau un rol activ al divinităţii. Determinismul ştiinţific formulat de Laplace este răspunsul omului de ştiinţă modern la cea de-a doua întrebare. Acest principiu este, de fapt, baza întregii ştiinţe moderne şi va juca un rol important în această carte. Dacă o lege ştiinţifică ar acţiona doar atunci când o fiinţă supranaturală se hotărăşte să nu intervină, atunci n-ar mai fi o lege ştiinţifică. Se spune că, aflând asta, Napoleon l-ar fi întrebat pe Laplace care e locul lui Dumnezeu în acest cadru. Laplace ar fi răspuns: „Sire, nu am nevoie de această ipoteză.”

Deoarece oamenii trăiesc în univers şi interacţionează cu celelalte obiecte din el, determinismul ştiinţific trebuie să funcţioneze şi în privinţa oamenilor. Dar, deşi acceptă că determinismul ştiinţific guvernează procesele fizice, mulţi ar face o excepţie pentru comportamentul uman, deoarece ei cred că avem liber-arbitru. Descartes, de exemplu, pentru a păstra ideea liberului-arbitru, spunea că mintea omenească se deosebeşte de lumea fizică şi nu urmează legile ei. Pentru el, un om era alcătuit din două părţi: un corp şi un suflet. Corpurile nu sunt decât mecanisme obişnuite, dar sufletul nu se supune legilor ştiinţei. Descartes era foarte preocupat de anatomie şi fiziologie, şi credea că un mic organ din centrul creierului numit glanda pineală este principalul sediu al sufletului. Această glandă ar fi, potrivit lui Descarte, locul unde se formează toate gândurile noastre, izvorul nesecat al liberului-arbitru.

Au oare oamenii liber-arbitru? Dacă îl avem, unde anume în arborele evoluţiei a apărut el? Algele albastre-verzi sau bacteriile au liber-arbitru, ori comportamentul lor e automat şi conform legilor ştiinţei? Oare doar organismele pluricelulare au liber-arbitru, sau numai mamiferele? Ne-am putea închipui că un cimpanzeu îşi exercită liberul-arbitru atunci când alege să înfulece o banană sau o pisică atunci când zgârie canapeaua, dar ce putem spune despre un vierme cilindric, numit *Caenorhabditis elegans* – o fiinţă simplă, alcătuită din doar 959 de celule? Probabil că el nu gândeşte niciodată „Ce gustoasă a fost bacteria pe care tocmai am mâncat-o”, deşi are şi el preferinţe alimentare, şi fie va accepta un prânz prea puţin ispititor, fie va căuta ceva mai bun, în funcţie de experienţa sa recentă. Reprezintă oare

aceasta exercitarea liberului-arbitru?

Deşi credem că putem alege ce să facem, studiul bazelor moleculare ale biologiei ne arată că procesele biologice sunt guvernate de legi ale fizicii şi chimiei, fiind deci determinate în aceeaşi măsură ca orbitele planetelor. Experimente neurologice recente vin în sprijinul ideii că acţiunile noastre sunt determinate de creierul nostru fizic, care se supune legilor cunoscute ale ştiinţei, iar nu de vreun agent care se sustrage acestor legi. De exemplu, un studiu asupra pacienţilor care sunt operaţi pe creier fără anestezie generală a arătat că, prin stimularea electrică a anumitor zone, pacientului îi poate fi indusă dorinţa de a mişca o mână, un braţ ori un picior, sau dorinţa de a mişca buzele şi a vorbi. Este greu de închipuit cum ar putea acţiona liberul-arbitru când comportamentul nostru e determinat de legi fizice, aşa încât s-ar părea că nu suntem decât nişte mecanisme biologice, iar liberul-arbitru e doar o iluzie.

Admiţând că legile naturii guvernează comportamentul uman, pare rezonabil de asemenea să tragem concluzia că rezultatul e determinat într-un mod atât de complicat şi are atât de multe variabile, încât în practică este imposibil de prezis. Pentru a-l prezice, ar trebui să cunoaştem starea iniţială a fiecăreia dintre cele o mie de bilioane de bilioane de molecule din corpul uman şi să rezolvăm un număr similar de ecuaţii. Aceste calcule ar dura câteva miliarde de ani, iar rezultatul ar sosi cam târziu pentru ca acela asupra căruia porneşte o lovitură să mai aibă vreme să se ferească.

Fiind atât de nepotrivit să folosim legile fizicii pentru a prezice comportamentul uman, adoptăm ceea ce se numeşte o teorie eficientă. În fizică, o teorie eficientă este un cadru creat pentru modelarea unor fenomene observate, fără să descriem în detaliu toate procesele subiacente. De exemplu, nu putem rezolva exact ecuaţiile care guvernează interacţiile gravitaţionale ale fiecărui atom din corpul unui om cu fiecare atom de pe Pământ. Pentru scopurile practice însă, forţele gravitaţionale dintre un om şi Pământ pot fi descrise prin doar câteva numere, cum e masa totală a acelui om. La fel, nu putem rezolva ecuaţiile ce descriu comportamentul unor atomi complecşi sau al unor molecule, dar putem elabora o teorie eficientă numită chimie, care ne furnizează o explicaţie acceptabilă privind comportamentul atomilor şi moleculelor în reacţiile chimice, fără a calcula toate detaliile interacţiilor. În cazul oamenilor, deoarece nu putem rezolva ecuaţiile care ne determină comportamentul, folosim teoria eficientă a liberului-arbitru. Studiul înclinaţiilor noastre şi al comportamentului ce derivă din ele este ştiinţa psihologiei. Ştiinţa economică e de asemenea o teorie eficientă, bazată pe noţiunea de liber-arbitru şi pe presupunerea că oamenii îşi evaluează diversele opţiuni şi o aleg pe cea mai bună. Această teorie eficientă are însă o capacitate limitată de

a prezice comportamentul, deoarece, aşa cum bine ştim, hotărârile noastre sunt adesea iraţionale sau se bazează pe o analiză incorectă a consecinţelor alegerii. De aceea în lume e atâta dezordine.

Cea de-a treia întrebare atacă problema unicităţii legilor care determină deopotrivă universul şi comportamentul uman. Dacă răspunsul vostru la prima întrebare este acela că Dumnezeu a creat legile, atunci problema care se pune este dacă Dumnezeu a avut posibilitatea să le aleagă. Aristotel şi Platon, iar mai târziu şi Descartes şi Einstein credeau că principiile naturii există în chip „necesar", altfel spus, pentru că sunt singurele reguli care au sens logic. Datorită credinţei că legile naturii îşi au originea în logică, Aristotel şi urmaşii săi considerau că legile pot fi „deduse" fără a acorda prea multă atenţie comportamentului naturii. Aceasta, precum şi faptul că se întreba mai curând de ce obiectele se supun legilor decât cum arată legile, l-a condus pe Aristotel la legi mai degrabă calitative, adesea greşite, care oricum nu s-au dovedit prea utile, chiar dacă au dominat gândirea ştiinţifică timp de secole. Abia mult mai târziu oameni precum Galilei au îndrăznit să conteste autoritatea lui Aristotel şi să observe ce anume face natura, iar nu ce ne spune „raţiunea" pură că ar trebui ea să facă.

Această carte se întemeiază pe conceptul de determinism ştiinţific, din care rezultă că răspunsul la întrebarea a doua este că nu există miracole sau excepţii de la legile naturii. Ne vom întoarce la prima şi la a treia întrebare, cele legate de originea legilor şi de unicitatea lor, pentru a le analiza în profunzime. Mai întâi însă, în capitolul următor, vom vedea ce anume descriu legile naturii. Majoritatea oamenilor de ştiinţă ar spune că ele sunt reflectarea matematică a unei realităţi exterioare ce există independent de observatorul care o vede. Dar, când analizăm mai atent felul în care ne facem observaţiile şi ne construim concepte despre ceea ce ne înconjoară, ajungem să ne întrebăm dacă avem motive întemeiate să credem că există o realitate obiectivă.

3.
Ce este realitatea?

Acum câţiva ani, consiliul municipal din Monza, Italia, a interzis ţinerea peştişorilor în acvarii de formă sferică. Iniţiatorul măsurii a explicat interdicţia spunând că e o cruzime să ţii peştii într-un vas cu pereţi curbaţi, deoarece ar avea o perspectivă distorsionată asupra realităţii. De unde ştim însă care este adevărata, nedistorsionata imagine a realităţii? Nu cumva ne aflăm şi noi înşine într-un imens acvariu sferic, iar perspectiva noastră e distorsionată de o lentilă uriaşă? Imaginea pe care şi-o fac peştişorii despre realitate e diferită de a noastră, dar de unde ştim că e mai puţin reală?

Imaginea peştişorilor nu e aceeaşi cu a noastră, dar şi ei ar putea formula legi ştiinţifice care să guverneze mişcarea obiectelor pe care le observă în afara bolului. De pildă, din cauza distorsiunii, un obiect care se mişcă liber, pe care noi îl vedem deplasându-se în linie dreaptă, va avea, pentru peştişori, o traiectorie curbă. Cu toate acestea, peştişorii ar putea formula legi ştiinţifice în sistemul lor de referinţă distorsionat, legi care ar fi mereu valabile şi pe baza cărora ar putea face predicţii despre mişcarea viitoare a obiectelor din afara bolului. Legile lor ar fi mai complicate decât legile din sistemul nostru de referinţă, dar simplitatea e o chestiune de gust. Dacă un peştişor ar formula o asemenea teorie, ar trebui să acceptăm că perspectiva lui e o reprezentare valabilă a realităţii.

Un exemplu celebru de reprezentare diferită a realităţii este modelul propus pe la anul 150 de Ptolemeu (cca 85 – cca 165) pentru a descrie mişcarea corpurilor cereşti. Ptolemeu şi-a publicat ideile într-un tratat conţinând 13 cărţi, cunoscut mai ales sub numele său arab, *Almagest*. Acesta începe prin a explica motivele de a crede că Pământul e sferic, nemişcat, se află în centrul universului şi e neglijabil de mic în raport cu distanţa până la cer. În ciuda modelului heliocentric al lui Aristarh, asemenea credinţe fuseseră împărtăşite de cei mai învăţaţi dintre greci, cel puţin în epoca de după Aristotel, care credea din motive mistice că Pământul trebuie să se afle în centrul universului. În modelul ptolemeic Pământul e situat în centru, iar planetele şi stelele se mişcă în jurul lui pe orbite complicate care implică epicicluri, ca

nişte roţi fixate pe alte roţi.

Modelul pare firesc, fiindcă nu simţim că Pământul se mişcă sub picioarele noastre (cu excepţia cutremurelor sau a momentelor pasionale). Sistemul de învăţământ european de mai târziu s-a bazat pe surse greceşti, aşa încât ideile lui Aristotel şi ale lui Ptolemeu au devenit în bună măsură fundamentul gândirii occidentale. Modelul cosmic al lui Ptolemeu a fost adoptat de Biserica Catolică şi considerat doctrină oficială timp de 14 secole. Abia în 1543 Copernic a propus un model alternativ în lucrarea *De revolutionibus orbium coelestium (Despre mişcările de revoluţie ale corpurilor cereşti),* publicată abia în anul morţii sale (deşi lucrase la teoria sa câteva decenii).

La fel ca Aristarh cu 17 secole mai devreme, Copernic a prezentat o lume în care Soarele e în repaus, iar planetele se rotesc în jurul său pe orbite circulare. Deşi ideea nu era nouă, resuscitarea ei a fost întâmpinată cu o rezistenţă înverşunată. Se considera că modelul intră în contradicţie cu Biblia, care era interpretată ca şi cum ar spune că planetele se mişcă în jurul Pământului, deşi în Biblie nu se menţionează clar aşa ceva. De fapt, la vremea când a fost scrisă Biblia se credea că Pământul e plat. Modelul copernican a condus la dezbateri furibunde privind mişcarea sau nemişcarea Pământului, culminând cu procesul lui Galilei, care a fost acuzat de erezie în 1633 pentru că a susţinut modelul copernican şi pentru că credea că „poate fi susţinută şi considerată probabil corectă o opinie care a fost declarată contrară Sfintei Scripturi". A fost găsit vinovat, condamnat la domiciliu forţat pentru tot restul vieţii şi obligat să abjure. Se spune că ar fi şoptit *„Eppur si muove"* adică „Şi totuşi se mişcă". În 1992, Biserica Romano-Catolică a recunoscut că săvârşise o greşeală condamnându-l pe Galilei.

Aşadar, care este cel adevărat, sistemul ptolemeic sau cel copernican? Deşi se consideră că acela care a demonstrat falsitatea sistemului lui Ptolemeu a fost Copernic, lucrurile nu stau aşa. Ca şi în cazul relaţiei dintre vederea normală şi cea a peştişorului din acvariu, se poate folosi oricare dintre perspective ca model al universului, pentru că observaţiile astronomice pot fi explicate considerând că se află în repaus fie Pământul, fie Soarele. În ciuda rolului său în dezbaterile filosofice privind natura universului, avantajul real al sistemului copernican este acela că ecuaţiile de mişcare sunt mult mai simple în sistemul de referinţă în care Soarele se află în repaus.

Un alt tip de realitate alternativă apare în filmul SF *Matrix*, în care omenirea trăieşte fără să ştie într-o realitate virtuală simulată, creată de computere inteligente spre a o menţine împăcată şi mulţumită, în timp ce computerele îi absorb energia bioelectrică (indiferent ce este aceea). Poate că nu e o exagerare, deoarece mulţi preferă să-şi omoare timpul în realitatea simulată a unor site-uri gen Second Life. De unde

ştim că nu suntem cu adevărat personaje într-o telenovelă creată de calculator? Dacă am trăi într-o lume artificială imaginară, atunci evenimentele n-ar trebui să aibă neapărat logică sau coerenţă şi să asculte de legi. Extratereştrii care controlează totul ar putea găsi că e mai interesant sau mai amuzant să ne vadă reacţiile dacă, de pildă, Luna s-ar rupe în două sau dacă întreaga omenire ar fi cuprinsă de o poftă irepresibilă pentru prăjiturile cu cremă de banane. Dar, dacă extratereştrii ar impune într-adevăr legi coerente, ne-ar fi imposibil să ne dăm seama că există o altă realitate în spatele celei simulate. Am putea, desigur, numi lumea în care trăiesc extratereştrii „reală", iar pe cea sintetică „falsă". Dar, dacă – la fel ca noi – fiinţele din lumea simulată nu-şi pot privi universul din afară, ele n-ar avea niciun motiv să se îndoiască de propria lor imagine asupra realităţii. Aceasta e o versiune modernă a ideii că suntem cu toţii plăsmuiri ale visului cuiva.

Exemplele precedente ne conduc la o concluzie care va fi importantă în această carte: *Nu există nicio noţiune de realitate independentă de imagine sau de teorie*. Vom adopta o perspectivă pe care o vom numi realism dependent de model: ideea că o teorie fizică sau o imagine a lumii este un model (în general de natură matematică) şi un set de reguli ce leagă elementele modelului de observaţii. Acesta ne oferă cadrul pentru interpretarea ştiinţei moderne.

Da la Platon încoace, filosofii au dezbătut îndelung problema naturii realităţii. Ştiinţa clasică se întemeiază pe credinţa că există o lume exterioară reală ale cărei proprietăţi sunt bine definite şi independente de observatorul care le percepe. Conform ştiinţei clasice, există anumite obiecte care au proprietăţi fizice precum masa şi viteza, cu valori bine definite. Din această perspectivă, teoriile noastre sunt încercări de a descrie acele obiecte şi proprietăţile lor, iar măsurătorile şi percepţiile noastre sunt în acord cu ele. Atât observatorul, cât şi obiectul observat sunt părţi ale unei lumi având o existenţă obiectivă, iar între ei nu se pot face distincţii semnificative. Cu alte cuvinte, dacă vezi o turmă de zebre care se înghesuie într-un garaj, atunci înseamnă că există într-adevăr o turmă de zebre care se înghesuie într-un garaj. Toţi ceilalţi observatori care privesc vor măsura aceleaşi proprietăţi, iar turma va avea acele proprietăţi indiferent dacă e sau nu cineva care s-o privească. În filosofie, această perspectivă se numeşte realism.

Chiar dacă realismul poate fi un punct de vedere tentant, vom vedea mai târziu că ceea ce ştim despre fizica modernă îl face greu de apărat. De exemplu, conform principiilor fizicii cuantice, care e o descriere precisă a naturii, o particulă nu poate avea simultan atât poziţia, cât şi viteza bine definite, atunci când sunt măsurate de un observator. Aşadar, *nu* e corect să spunem că o măsurătoare dă un

anumit rezultat deoarece cantitatea măsurată a avut acea valoare la momentul când s-a făcut măsurătoarea. De fapt, în unele cazuri obiectele individuale nici măcar nu au o existenţă independentă, ci există doar ca parte a unui ansamblu de mai multe obiecte. Şi, dacă teoria numită principiul holografic se va dovedi corectă, atunci noi şi lumea noastră în patru dimensiuni am putea fi umbre pe frontiera unui spaţiu-timp mai vast, cu cinci dimensiuni. În acest caz, statutul nostru în univers ar semăna cu acela al peştişorului din acvariu.

Realiştii intransigenţi susţin deseori că dovada faptului că anumite teorii ştiinţifice reprezintă realitatea e dată de succesul lor. Dar acelaşi fenomen poate fi descris cu succes de teorii diferite, folosind cadre conceptuale diferite. De fapt, multe teorii ştiinţifice care s-au dovedit de succes au fost ulterior înlocuite cu altele, de asemenea de succes, bazate pe idei cu totul noi privind realitatea.

În mod tradiţional, aceia care nu acceptă realismul au fost numiţi antirealişti. Antirealiştii pornesc de la presupunerea că există o deosebire între cunoaşterea empirică şi cea teoretică. Ei susţin în general că observaţia şi experimentul au sens deplin, iar teoriile nu sunt decât instrumente utile care nu conţin adevăruri mai profunde aflate în spatele fenomenelor observate. Unii antirealişti au vrut să limiteze ştiinţa doar la lucrurile ce pot fi observate. Din acest motiv, în secolul XIX mulţi au respins ideea de atom pe baza faptului că nu vom putea vedea niciodată vreunul. George Berkeley (1685–1753) a mers până la a spune că nu există nimic în afara minţii şi ideilor noastre. Atunci când un prieten i-a spus scriitorului şi lexicografidui englez Samuel Johnson (1709–1784) că afirmaţia lui Berkley nu poate fi respinsă, se spune că Johnson i-ar fi răspuns ducându-se la o piatră mare, lovind-o cu piciorul şi declarând: „Uite că o resping.” Evident, durerea resimţită la picior era de asemenea doar o idee a minţii sale, aşadar Johnson n-a respins cu adevărat ideile lui Berkley. Acţiunea lui ilustra însă perspectiva filosofului David Hume (1717–1776), care spunea că, deşi nu avem temeiuri raţionale de a crede într-o realitate obiectivă, nu avem nici vreo altă soluţie decât să acţionăm ca şi cum ar exista o realitate obiectivă.

Realismul dependent de model scurtcircuitează toate aceste raţionamente şi dispute între şcolile de gândire realistă şi antirealistă. Conform realismului dependent de model, n-are sens să te întrebi dacă un model e real doar pe baza acordului în care se află cu observaţiile. Dacă există două modele, ambele în acord cu observaţiile, ca în cazul reprezentării noastre şi a peştişorului din acvariu, nu se poate spune că unul e mai real decât celălalt. Putem folosi orice model care ni se pare mai potrivit în situaţia considerată. De exemplu, pentru cineva aflat în bol imaginea peştişorului ar putea fi folositoare, dar pentru cei din exterior ar fi deosebit de incomod să descrie evenimentele dintr-o

galaxie îndepărtată în sistemul de referinţă al unui bol de pe Pământ, mai ales că bolul se mişcă atunci când Pământul se roteşte în jurul Soarelui şi se învârte în jurul axei proprii.

Creăm modele în ştiinţă, dar şi în viaţa de fiecare zi. Realismul dependent de model se aplică nu doar modelelor ştiinţifice, dar şi modelelor mentale pe care ni le creăm cu toţii, la nivel conştient sau subconştient, pentru a interpreta şi înţelege lumea de zi cu zi. Nu putem elimina observatorul – noi înşine – din percepţia noastră asupra lumii, percepţie obţinută prin procesarea senzorială şi prin modul în care gândim şi raţionăm. Percepţia noastră – deci şi observaţiile pe care se întemeiază teoriile noastre – nu este directă, ci e ajustată de un fel de lentile, structura interpretativă a creierului uman.

Realismul dependent de model corespunde modului în care percepem obiectele. Atunci când vedem, creierul nostru primeşte o serie de semnale prin nervul optic. Aceste semnale nu constituie genul de imagine pe care aţi accepta-o la televizor. Există o pată oarbă în locul unde nervul optic ajunge la retină, iar singura parte a câmpului vizual în care rezoluţia e bună este o zonă îngustă reprezentând aproximativ un grad de unghi vizual pornind din centrul retinei, adică o suprafaţă corespunzând dimensiunii degetului mare atunci când ţinem braţul întins. Astfel, datele brute trimise la creier sunt ca o fotografie cu puţini pixeli şi având o gaură în ea. Din fericire, creierul uman procesează datele primite, combinând imput-ul provenit de la ambii ochi, completând golurile pornind de la presupunerea că proprietăţile vizuale ale zonelor învecinate sunt asemănătoare, şi apoi interpolând. Mai mult, el citeşte o matrice bidimensională de date sosite de la retină şi creează de aici senzaţia de spaţiu tridimensional. Cu alte cuvinte, creierul construieşte o imagine mentală sau un model.

Creierul construieşte atât de bine modele, încât, dacă unui om i se dă să poarte ochelari care răstoarnă imaginile cu susul în jos, după un timp creierul schimbă modelul, aşa încât omul va vedea lucrurile din nou în poziţia normală. Dacă i se scot acei ochelari, omul va vedea pentru scurt timp lumea răsturnată, după care se va adapta din nou. Aceasta arată că, atunci când spui „văd un scaun”, asta înseamnă că ai folosit lumina împrăştiată de scaun pentru a construi o imagine mentală sau un model al scaunului. Dacă modelul e răsturnat, cu puţin noroc creierul va face corecţia înainte să încerci să te aşezi pe scaun.

Altă problemă pe care o rezolvă realismul dependent de model, sau cel puţin o evită, este cea a semnificaţiei existenţei. De unde ştiu că o masă încă există, dacă eu am ieşit din cameră şi n-o văd? Ce înseamnă să spui că există lucrurile pe care nu le putem vedea, precum electronii sau cuarcii – particulele din care se spune că sunt alcătuiţi protonii şi neutronii? Am putea avea un model în care masa să dispară când ies din cameră şi să reapară în aceeaşi poziţie atunci când mă

întorc, dar ar fi greu de conceput. S-ar putea întâmpla ceva după ce ies din cameră, de pildă să cadă tavanul. Dar atunci, acceptând modelul „masa dispare când ies din cameră", cum aş putea explica faptul că atunci când intru din nou găsesc masa spartă sub molozul tavanului? Modelul în care masa stă la locul ei este mai simplu şi e în acord cu observaţiile noastre. Asta e tot ce putem cere.

În cazul particulelor subatomice pe care nu le putem vedea, electronii sunt un model util care explică observaţii precum urmele într-o cameră cu ceaţă şi petele de lumină de pe tubul catodic al televizorului, dar şi multe alte fenomene. Se ştie că electronul a fost descoperit în 1897 de fizicianul britanic J.J. Thomson la Laboratorul Cavendish de la Universitatea Cambridge. El făcea experienţe legate de curenţii electrici din interiorul unor tuburi de sticlă goale, ceea ce numim azi raze catodice. Experimentele l-au condus la concluzia îndrăzneaţă că acele raze misterioase sunt alcătuite din „corpusculi" foarte mici, constituienţii materiali ai atomilor – atomii fiind pe atunci consideraţi elementele fundamentale şi indivizibile ale materiei. Thomson nu a „văzut" vreun electron, iar experimentele făcute de el n-au demonstrat direct şi fără echivoc ipoteza sa. Dar modelul s-a dovedit esenţial atât în ştiinţa fundamentală, cât şi în inginerie, iar astăzi toţi fizicienii cred în existenţa electronilor, deşi nu-i putem vedea.

Cuarcii, pe care de asemenea nu-i putem vedea, sunt un model care explică proprietăţile protonilor şi neutronilor din nucleul unui atom. Deşi se consideră că protonii şi neutronii sunt alcătuiţi din cuarci, nu vom putea observa niciodată un cuarc, fiindcă forţa de legătură dintre cuarci creşte enorm pe măsură ce încercăm să-i separăm, deci nu pot exista cuarci liberi în natură. Ei apar întotdeauna în grupuri de trei (în protoni şi neutroni) sau în perechi cuarc-anti-cuarc (în mezonii pi), şi se comportă ca şi cum ar fi legaţi cu elastic.

Din moment ce nu putem niciodată izola un cuarc, întrebarea dacă are sens să spunem că există într-adevăr cuarcii a fost aprig dezbătută în anii de după apariţia acestui model. Ideea că unele particule sunt alcătuite din diverse combinaţii a câteva particule subnucleare implică un principiu de organizare ce a condus la o explicaţie simplă şi atrăgătoare a proprietăţilor lor. Însă, deşi fizicienii erau obişnuiţi să accepte particule a căror existenţă era dedusă din scurte semnale statistice în datele de împrăştiere ale altor particule, ideea de a atribui realitate unei particule care ar putea fi în principiu neobservabilă a fost prea de tot pentru mulţi fizicieni. Totuşi, în timp, pe măsură ce modelul cuarcilor conducea la predicţii tot mai precis confirmate, opoziţia a slăbit. E fără îndoială posibil ca nişte extratereştri cu şaptesprezece braţe, ochi în infraroşu şi având obiceiul de a sufla smântână prin urechi să efectueze aceleaşi experimente ca noi, dar să

le explice fără ajutorul cuarcilor. Cu toate acestea, conform realismului dependent de model, cuarcii există într-un model care este în acord cu observaţiile noastre privind comportamentul particulelor subatomice.

Realismul dependent de model poate oferi un cadru de discuţie pentru întrebări de genul: dacă lumea a fost creată cu un timp finit în urmă, ce s-a întâmplat înainte de acel moment? Unul dintre primii filosofi creştini, Sfântul Augustin (354–430), a spus că răspunsul nu este acela că Dumnezeu a pregătit iadul pentru cei ce pun asemenea întrebări, ci că timpul este o proprietate a lumii pe care a creat-o Dumnezeu, iar timpul n-a existat înainte de creaţie, care, credea el, nu avusese loc într-un trecut prea îndepărtat. Acesta e un model posibil, pe placul acelora care susţin că cele scrise în Cartea Facerii sunt *ad litteram* adevărate, chiar dacă lumea conţine fosile şi alte dovezi care o fac să pară mult mai veche. (Au fost oare puse acolo anume ca să ne inducă în eroare?) Putem avea şi un alt model, în care timpul se prelungeşte în urmă cu 13,7 miliarde de ani, până la big bang. Modelul care explică cele mai multe dintre observaţiile noastre, inclusiv dovezile istorice şi geologice, este cea mai bună reprezentare a trecutului pe care o avem. Al doilea model poate explica mărturiile fosile şi radioactive, precum şi faptul că primim lumină de la galaxii aflate la milioane de ani-lumină de noi, iar astfel acest model – teoria big bang – este mai util decât primul. Şi totuşi, niciun model nu poate fi considerat mai real decât celălalt.

Unii susţin un model în care timpul se prelungeşte în urmă dincolo de big bang. Nu e încă limpede dacă un asemenea model ar putea explica mai bine observaţiile actuale, deoarece s-ar părea că legile de evoluţie ale universului nu pot fi aplicate la momentul big bang. Dacă aşa stau lucrurile, n-ar avea niciun sens să creăm un model în care timpul să ajungă înainte de big bang, fiindcă ceea ce ar fi existat înainte nu ar avea consecinţe observabile în prezent, iar astfel putem rămâne la ideea că big bang-ul a fost creaţia lumii.

Un bun model trebuie să satisfacă următoarele condiţii:

1 Este elegant.
2 Conţine puţine elemente arbitrare sau ajustabile.
3 Este în acord cu toate observaţiile existente şi le explică.
4 Face predicţii amănunţite privind observaţiile viitoare care pot infirma sau falsifica modelul, dacă nu se confirmă.

De exemplu, teoria lui Aristotel care spunea că lumea e alcătuită din patru elemente, pământ, aer, foc şi apă, şi că obiectele acţionează pentru a-şi împlini scopul era elegantă şi nu conţinea elemente ajustabile. Dar în cele mai multe cazuri nu putea face predicţii precise,

iar, atunci când le făcea, predicţiile nu erau în acord cu observaţiile. Una dintre predicţii era aceea că obiectele mai grele trebuie să cadă mai repede, fiindcă scopul lor este să cadă. Nimeni nu a considerat necesar să testeze acest lucru până la Galilei. Se povesteşte că el a făcut testul lăsând să cadă obiecte grele din turnul înclinat din Pisa. Probabil că e o legendă apocrifă, dar ştim că a pus să se rostogolească obiecte pe un plan înclinat şi a observat că viteza lor creşte în acelaşi ritm, contrar predicţiilor lui Aristotel.

Criteriile de mai sus sunt evident subiective. Eleganţa, de exemplu, este ceva ce nu poate fi măsurat, dar e preţuită de oamenii de ştiinţă deoarece legile naturii sunt menite să comprime mai multe cazuri particulare într-o singură formulă. Eleganţa se referă la forma teoriei, dar e strâns legată de absenţa elementelor ajustabile, deoarece o teorie înţesată cu factori arbitrari nu e elegantă. Pentru a-l parafraza pe Einstein, o teorie trebuie să fie cât se poate de simplă, dar nu mai simplă de-atât. Ptolemeu a adăugat epicicluri la orbitele circulare ale corpurilor cereşti pentru ca modelul său să descrie exact mişcarea lor. Modelul putea fi îmbunătăţit adăugând epicicluri la epicicluri, ba chiar şi la acestea alte epicicluri. Deşi sporirea complexităţii poate face modelul mai precis, oamenii de ştiinţă consideră nesatisfacător un model care e contorsionat pentru a se potrivi cu un anumit set de observaţii, ceea ce seamănă mai mult cu un catalog de date decât cu o teorie care să întruchipeze un principiu util.

Vom vedea în capitolul 5 că mulţi consideră nu prea elegant „modelul standard” care descrie interacţiile particulelor elementare. Modelul acesta are un succes mult mai mare decât epiciclurile lui Ptolemeu. El a prezis existenţa unor noi particule înainte ca ele să fie observate experimental şi a prezentat cu mare precizie rezultatul a numeroase experimente efectuate timp de decenii. El conţine însă o serie de parametri ajustabili ale căror valori trebuie fixate pentru a se potrivi cu observaţiile, şi nu sunt determinate de teorie.

Cât priveşte al patrulea punct, oamenii de ştiinţă sunt întotdeauna impresionaţi atunci când predicţii noi şi neaşteptate se dovedesc a fi corecte. Pe de altă parte, dacă un model dă greş, reacţia obişnuită e să spui că este ceva în neregulă cu experimentul. Dacă se dovedeşte că lucrurile nu stau aşa, de multe ori oamenii nu abandonează modelul, ci încearcă să-l salveze prin modificări. Deşi fizicienii încearcă cu tenacitate să salveze teoriile pe care le admiră, tendinţa de a modifica o teorie scade pe măsură ce ajustările devin artificiale sau greoaie, şi prin urmare „neelegante”.

Dacă modificările necesare pentru adaptarea la noile observaţii devin prea baroce, acesta e semnul că e nevoie de un nou model. Un exemplu de model vechi care a cedat în faţa noilor observaţii a fost cel al universului static. În anii ’20, majoritatea fizicienilor considerau

universul static sau de dimensiune neschimbătoare. Apoi, în 1929, Edwin Hubble şi-a publicat observaţiile care arătau că universul se extinde. El a observat lumina emisă de galaxii. Acea lumină are o amprentă caracteristică (spectru), determinată de compoziţia fiecărei galaxii, care se decalează cu o cantitate cunoscută atunci când galaxia se deplasează în raport cu noi. Prin urmare, analizând spectrul galaxiilor îndepărtate, Hubble a putut determina vitezele lor. El se aşteptase ca numărul galaxiilor care se îndepărtează de noi să fie aproximativ egal cu cel al galaxiilor care se apropie, dar a descoperit că aproape toate galaxiile se îndepărtează de noi, iar, cu cât erau mai departe, cu atât se deplasau mai repede. Hubble a tras concluzia că universul se extinde, însă alţii, încercând să menţină modelul vechi, au încercat să explice observaţiile sale în cadrul universului static. De pildă, Fritz Zwicky, fizician la Caltech, a emis ipoteza că, din motive necunoscute, lumina ar putea pierde încet energie pe măsură ce străbate distanţe atât de mari. Această scădere a energiei s-ar traduce printr-o schimbare a spectrului, despre care Zwicky a sugerat că ar simula observaţiile lui Hubble. La zeci de ani după Hubble, mulţi oameni de ştiinţă continuau să creadă în teoria universului staţionar. Dar modelul universului în expansiune, susţinut de Hubble, era mai firesc, aşa încât a ajuns în cele din urmă să fie acceptat.

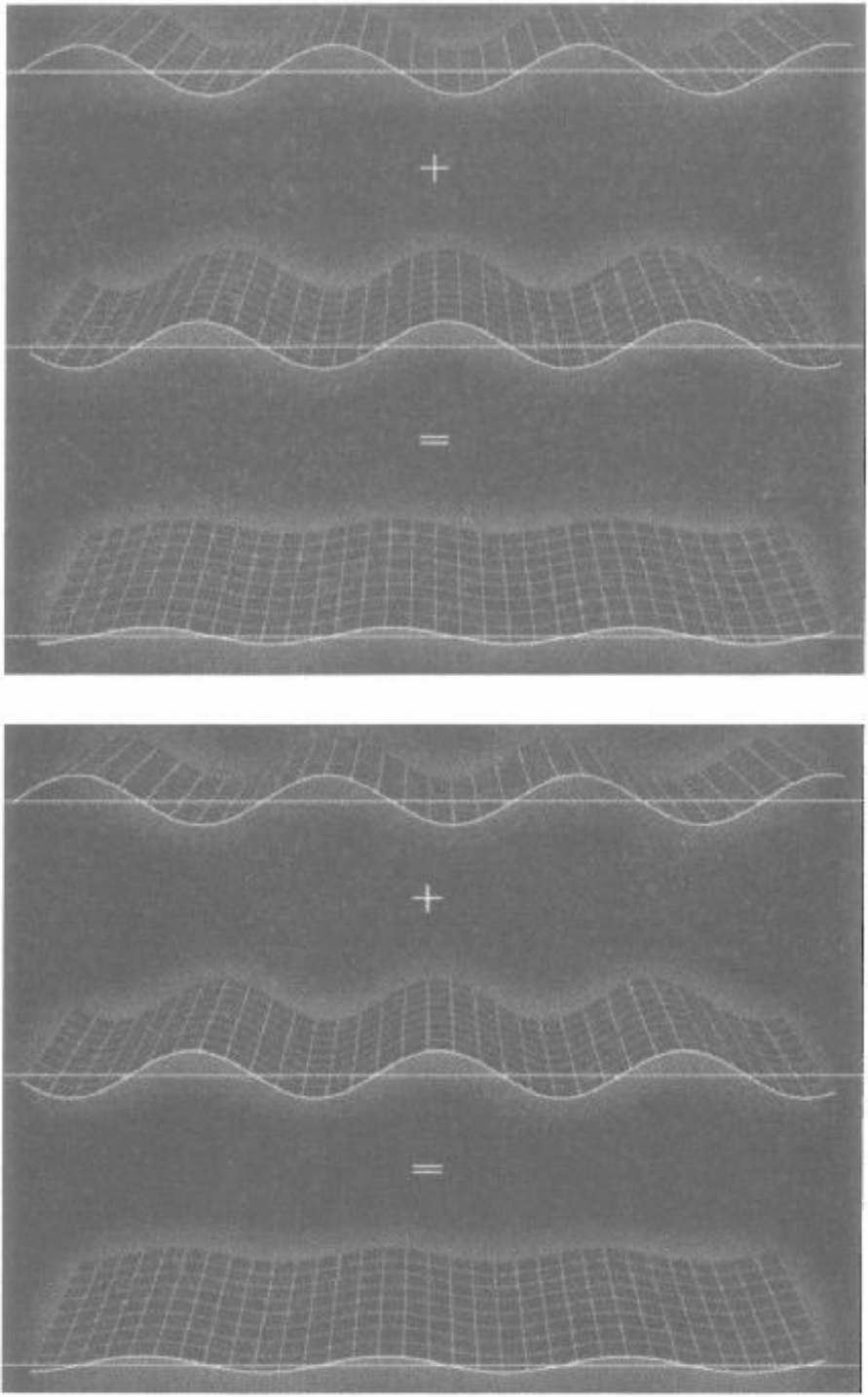
În căutarea legilor care guvernează universul au fost formulate o serie de teorii sau modele cum sunt teoria celor patru elemente, modelul lui Ptolemeu, teoria flogisticului{2}, teoria big bang etc. Cu fiecare teorie sau model, concepţia noastră despre realitate şi despre constituenţii fundamentali ai universului s-a schimbat. Să considerăm, de exemplu, teoria luminii. Newton credea că lumina e alcătuită din mici particule sau corpusculi. Aceasta explica de ce lumina se deplasează în linie dreaptă şi de ce e deviată sau refractată atunci când trece dintr-un mediu în altul, de pildă, din aer în sticlă sau din aer în apă.

Teoria corpusculilor nu putea totuşi explica un fenomen observat de însuşi Newton, cunoscut sub numele de inelele lui Newton. Aşezaţi o lentilă pe o placă reflectantă plată şi trimiteţi asupra ei lumină monocoloră, cum e cea emisă de sodiu. Privind de sus, veţi vedea o serie de inele luminoase şi întunecate centrate pe locul unde lentila atinge placa. Acestea ar fi greu de explicat în cadrul teoriei corpusculare a luminii, dar pot fi înţelese în teoria ondulatorie.

Conform teoriei ondulatorii a luminii, inelele luminoase şi întunecate sunt provocate de un fenomen numit interferenţă. O undă, aşa cum sunt valurile pe suprafaţa unei ape, constă dintr-o serie de creste şi văi. Atunci când undele se ciocnesc, dacă se întâmplă ca văile şi, respectiv, crestele să coincidă, ele se întăresc reciproc şi rezultă o undă mai mare. Aceasta se numeşte interferenţă constructivă. În acest

caz, se spune că undele sunt „în fază”. La extrema cealaltă, când undele se întâlnesc, crestele uneia pot coincide cu văile celeilalte. În acest caz, undele se anulează reciproc şi se spune ca sunt „defazate”. Această situaţie poartă numele de interferenţă destructivă.

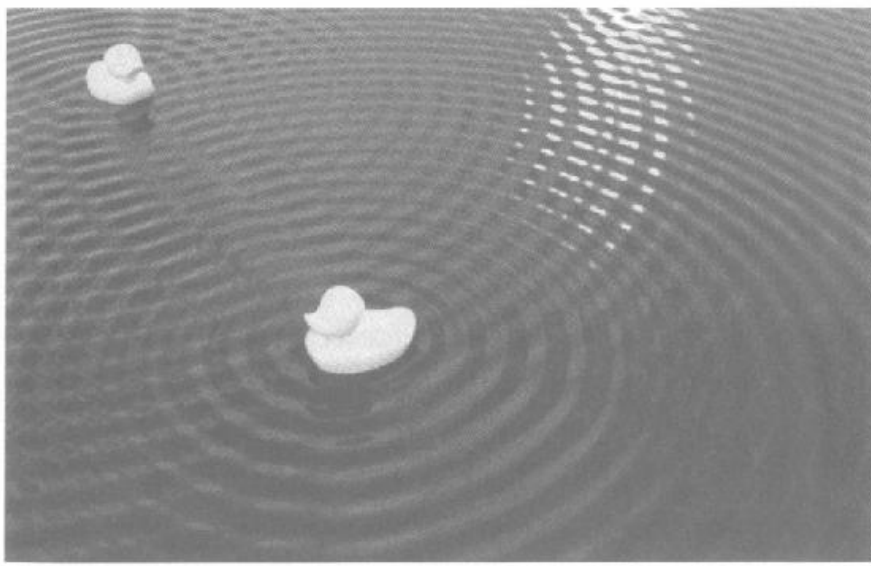
La inelele lui Newton, inelele luminoase sunt localizate la acele distanţe faţă de centrul de separare dintre lentilă şi placa reflectantă pentru care unda reflectată de lentilă diferă de unda reflectată de placă printr-un număr întreg (1, 2, 3…) de lungimi de undă, ceea ce produce interferenţa constructivă. (Lungimea de undă este distanţa dintre două creste sau două văi succesive.) Pe de altă parte, inelele întunecate sunt localizate la acele distanţe faţă de centru pentru care distanţa dintre cele două unde reflectate este un număr semi-întreg (½, 1½, 2½…) de lungimi de undă, ceea ce produce interferenţa destructivă – unda reflectată de lentilă anulează unda reflectată de placă.



INTERFERENȚA La fel ca oamenii, atunci când undele se întâlnesc, ele au tendința fie să se înalțe, fie să se coboare reciproc.

În secolul XIX, aceasta era considerată o confirmare a teoriei ondulatorii a luminii şi o invalidare a teoriei corpusculare. Totuşi, la începutul secolului XX, Einstein a arătat că efectul fotoelectric (folosit acum în televiziune şi la aparatele de fotografiat digitale) poate fi explicat prin particule sau cuante de lumină care ciocnesc un atom şi scot afară un electron. Prin urmare, lumina se comportă atât ca particulă, cât şi ca undă.

Noţiunea de undă şi-a făcut loc în gândire pentru că oamenii au privit oceanul sau un bazin după ce o pietricică a căzut în ele. De fapt, dacă aţi aruncat vreodată două pietricele într-un bazin, aţi văzut probabil fenomenul interferenţei.



INTERFERENȚA ÎNTR-UN BAZIN Interferența apare în viața de zi cu zi pe întinderile de apă, de la bazine la oceane.

Se poate observa că şi alte lichide au un comportament asemănător, poate cu excepţia vinului, în cazul în care aţi băut prea mult. Ideea de particulă ne e sugerată de pietre, pietriş şi nisip. Dar această dualitate undă/particulă – ideea că un obiect poate fi descris atât ca particulă, cât şi ca undă – scapă experienţei de zi cu zi, e la fel ca ideea că ai putea bea un bolovan de gresie.

Dualităţi ca aceasta – situării în care două teorii foarte diferite descriu corect acelaşi fenomen – sunt în conformitate cu realismul dependent de model. Fiecare teorie poate descrie şi explica anumite proprietăţi, iar despre niciuna nu se poate spune că ar fi mai bună sau

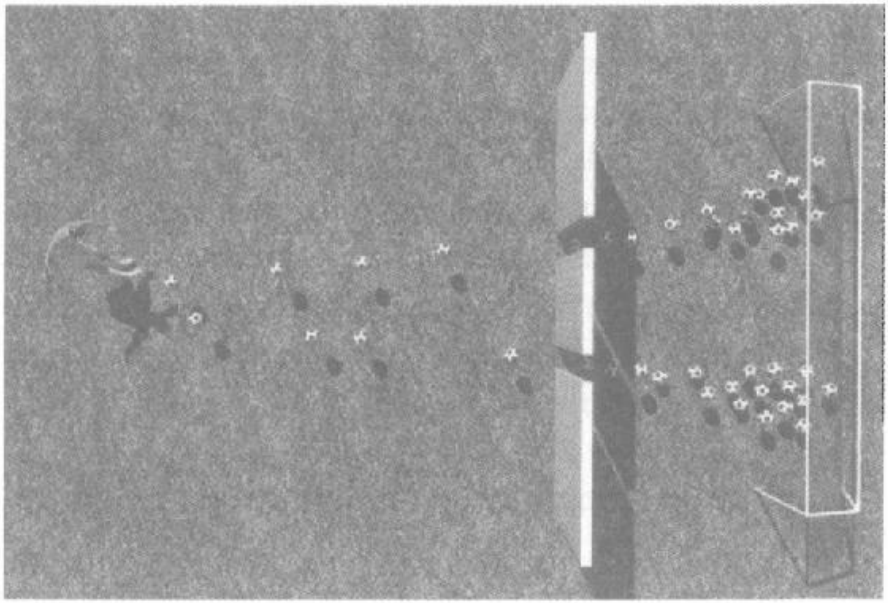
mai reală decât cealaltă. În privinţa legilor care guvernează universul, ceea ce putem spune este: se pare că nu există un singur model matematic sau o singură teorie care să descrie toate aspectele universului. Aşa cum am menţionat în capitolul introductiv, se pare că există în schimb o reţea de teorii numită teoria M. Fiecare teorie din reţeaua teoriei M este bună pentru descrierea unor fenomene dintr-un anumit domeniu. Nicio teorie din reţea nu poate descrie toate aspectele universului – toate forţele din natură, particulele care resimt aceste forţe şi cadrul spaţiotemporal în care au loc toate acestea. Deşi această stare de lucruri nu corespunde visului tradiţional al fizicienilor de a avea o singură teorie unificatoare, ea e acceptabilă în cadrul realismului dependent de model.

Vom vorbi despre dualitate şi teoria M în capitolul 5, dar mai întâi ne vom întoarce la un principiu fundamental pe care se întemeiază perspectiva noastră modernă asupra naturii: teoria cuantică, şi în particular acea abordare a teoriei cuantice numită „istorii alternative”. Conform ei, universul nu are doar o singură existenţă sau istorie, ci toate versiunile posibile ale universului există simultan în ceea ce se numeşte superpoziţie cuantică. Poate că sună la fel de scandalos ca teoria în care masa dispare atunci când părăsesc camera, dar, în acest caz, teoria a trecut toate testele experimentale la care a fost supusă.

4.
Istorii alternative

În 1999, o echipă de fizicieni austrieci a focalizat un fascicul de molecule în formă de minge de fotbal către un paravan. Aceste molecule, fiecare alcătuită din şaizeci de atomi de carbon, sunt numite fulerene, fiindcă arhitectul Buckminster Fuller a proiectat construcţii de această formă. Cupolele geodezice ale lui Fuller sunt pesemne cele mai mari obiecte în formă de minge de fotbal existente. Fulerenele sunt cele mai mici. Paravanul pe care l-au bombardat oamenii de ştiinţă avea două deschizături prin care fulerenele puteau trece. În spatele paravanului fizicienii au aşezat echivalentul unui ecran pentru a detecta şi număra moleculele emergente.

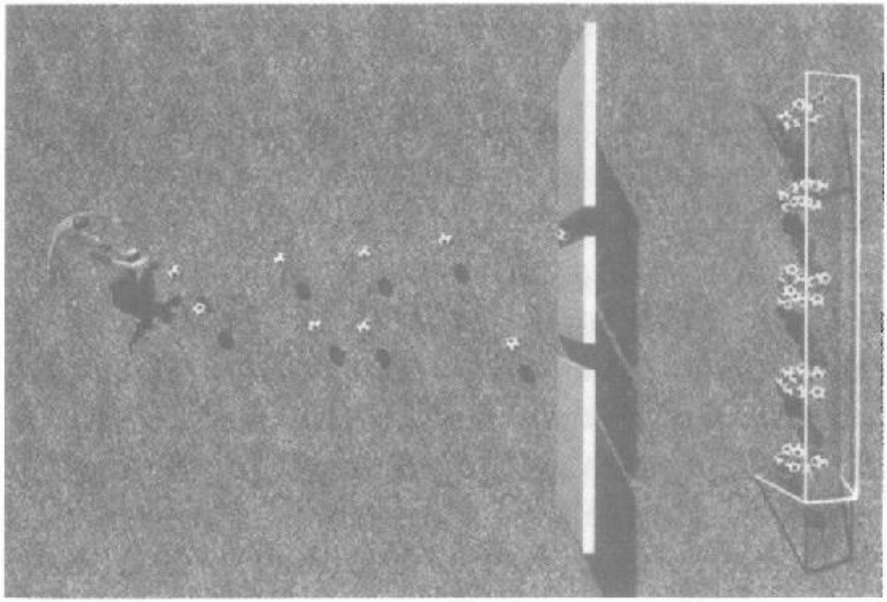
Dacă am face un experiment analog cu mingi de fotbal adevărate, ne-ar trebui un jucător nu foarte precis, dar care lansează mereu mingile cu o viteză la alegerea noastră. Am aşeza jucătorul în faţa zidului în care există două deschizături. De partea cealaltă a zidului, paralel cu el, am aşeza o plasă foarte lungă. Cele mai multe mingi vor izbi zidul şi vor ricoşa înapoi, dar unele vor trece printr-o deschizătură sau prin cealaltă. Dacă deschizăturile din zid sunt doar cu puţin mai largi decât mingile, vom observa două fluxuri bine colimate care vor trece de partea cealaltă. Dacă lărgimea deschizăturilor ar fi ceva mai mare, fiecare flux s-ar desface într-un mic evantai, aşa cum se vede în desenul de mai jos.



FOTBAL CU DOUĂ FANTE Un fotbalist şutează către deschizăturile din zid şi generează modelul aşteptat.

Observaţi că, dacă închidem una din fante, fluxul corespunzător de mingi nu va mai trece pe acolo, dar asta nu va avea niciun efect asupra celuilalt flux. Dacă redeschidem a doua fantă, aceasta nu va face decât să sporească numărul mingilor care trec de partea cealaltă, fiindcă, la numărul mingilor care trec prin prima fantă, rămasă deschisă şi înainte, se vor adăuga mingile care trec prin fanta redeschisă acum. Ceea ce observăm când ambele fante sunt deschise este suma a ceea ce observăm când fiecare fantă e deschisă separat. Acesta e realitatea cu care ne-am obişnuit în viaţa de zi cu zi. Dar nu acelaşi lucru au găsit fizicienii austrieci când au efectuat bombardamentul molecular.

În experimentul austriac, deschiderea celei de-a doua fante sporeşte într-adevăr numărul de molecule ce ajung de partea cealaltă în anumite puncte de pe ecran, dar scade numărul lor în alte puncte, aşa cum se vede în figura de mai jos.



FOTBAL CU FULERENE Când mingile de fotbal molecular sunt lansate către fante, modelul rezultat reflectă neobişnuitele legi cuantice.

De fapt, vor fi locuri în care nu va ateriza nicio fulerenă atunci când ambele fante sunt deschise, dar vor ajunge acolo fulerene atunci când doar una din fante e deschisă. Pare foarte ciudat. Cum se poate ca, prin deschiderea unei a doua fante, mai puţine molecule să ajungă în anumite puncte?

Putem găsi un indiciu privind răspunsul dacă examinăm detaliile. În experiment, multe mingi moleculare ajung într-un loc situat la jumătatea distanţei dintre locul unde v-aţi aştepta să ajungă dacă trec fie printr-una, fie prin cealaltă fantă. Ceva mai departe de poziţia centrală ajung foarte puţine molecule, dar încă puţin mai departe vom observa din nou molecule. Acest model nu e suma modelelor formate atunci când fiecare fantă e deschisă separat, dar îl puteţi recunoaşte din capitolul 3, acolo unde apare figura caracteristică a interferenţei undelor. Zonele unde nu ajung molecule corespund regiunilor în care undele emise de fante ajung defazate şi creează o interferenţă destructivă; zonele unde ajung multe molecule corespund regiunilor în care undele ajung în fază şi creează o interferenţă constructivă.

În primele două milenii de gândire ştiinţifică, experienţa comună şi intuiţia au stat la baza explicaţiilor teoretice. Pe măsură ce ne-am perfecţionat tehnologia, iar spectrul fenomenelor observate s-a extins, am început să descoperim că natura se comportă într-un mod tot mai puţin compatibil cu experienţa cotidiană, deci cu intuiţia noastră,

după cum o dovedeşte experimentul cu fulerene. Acest experiment e tipic pentru genul de fenomene ce nu pot fi cuprinse de ştiinţa clasică, dar sunt descrise de ceea ce se numeşte fizică cuantică. Richard Feynman spunea că experimentul cu două fante aşa cum l-am prezentat mai sus „conţine întreg misterul mecanicii cuantice".

Principiile fizicii cuantice au fost elaborate în primele decenii ale secolului XX, după ce teoria newtoniană s-a dovedit nepotrivită pentru descrierea naturii la nivel atomic sau subatomic. Teoriile fundamentale ale fizicii descriu forţele din natură şi felul în care obiectele reacţionează la ele. Teoriile clasice precum cea a lui Newton sunt construite într-un cadru ce reflectă experienţa cotidiană, în care obiectele materiale au o existenţă individuală, pot fi localizate, urmează traiectorii precise etc. Fizica cuantică oferă un cadru pentru înţelegerea felului în care acţionează natura la scară atomică sau subatomică, dar, după cum vom vedea mai târziu, ea impune o schemă conceptuală total diferită, în care poziţia, traiectoria, ba chiar şi trecutul şi viitorul unui obiect nu sunt precis determinate. Teoriile cuantice ale forţelor precum gravitaţia sau forţa electromagnetică sunt construite în acest cadru.

Pot oare teoriile construite într-un cadru atât de diferit de experienţa cotidiană să explice şi evenimentele experienţei comune, care au fost atât de precis reprezentate de fizica clasică? Da, pot, fiindcă noi şi tot ce ne înconjoară suntem structuri complexe, alcătuite dintr-un număr colosal de atomi, mai mulţi atomi decât stelele din universul observabil. Şi, cu toate că atomii componenţi ascultă de principiile fizicii cuantice, se poate demonstra că agregate mari care alcătuiesc mingi de fotbal, napi, avioane – şi pe noi înşine – vor reuşi într-adevăr să nu fie difractate prin fante. Astfel, deşi componentele obiectelor obişnuite ascultă de fizica cuantică, legile lui Newton constituie o teorie eficientă care descrie foarte precis comportamentul structurilor complexe ce definesc comportamentul lumii cotidiene.

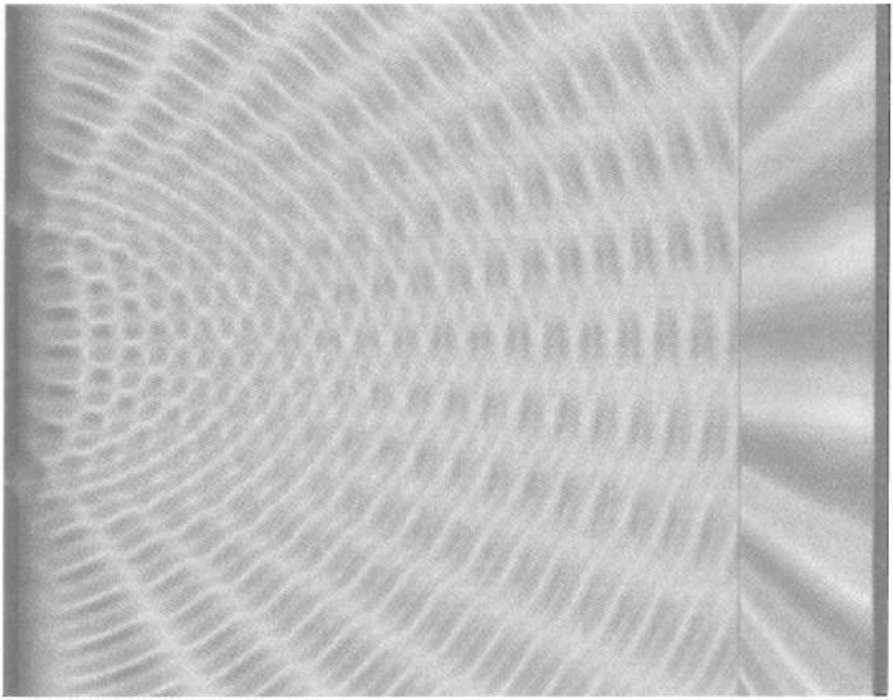
Poate părea ciudat, dar există în ştiinţă multe situaţii în care un agregat mare se comportă altfel decât componentele lui individuale. Reacţiile unui singur neuron nu prevestesc deloc reacţiile creierului uman, după cum nici cunoştinţele despre molecula de apă nu spun prea multe despre ce se întâmplă cu un lac. În cazul fizicii cuantice, oamenii de ştiinţă încă se mai străduiesc să înţeleagă detaliile felului în care apar legile lui Newton din domeniul cuantic. Ceea ce ştim este că elementele componente ale tuturor obiectelor ascultă de legile fizicii cuantice, iar legile lui Newton sunt o bună aproximaţie pentru a descrie comportamentul obiectelor macroscopice alcătuite din aceste componente cuantice.

Predicţiile teoriei newtoniene se conformează deci perspectivei asupra realităţii pe care ne-o dă experienţa lumii înconjurătoare.

Atomii şi moleculele individuale acţionează însă într-un mod profund diferit de cel care rezultă din experienţa noastră cotidiană. Fizica cuantică este un model nou al realităţii care ne oferă o imagine a universului. Este o imagine în care multe dintre conceptele fundamentale ale înţelegerii noastre intuitive privind realitatea nu mai au niciun sens.

Experimentul cu două fante a fost efectuat pentru prima dată în 1927 de Clinton Davisson şi Lester Germer, fizicieni experimentatori la Laboratoarele Bell, unde studiau interacţia unui fascicul de electroni – obiecte mult mai simple decât fulerenele – cu un cristal de nichel. Faptul că particule de materie precum electronii se comportă ca undele de pe suprafaţa apei a fost genul de dovadă uimitoare care a stimulat fizica cuantică. Dat fiind că acest comportament nu se observă la scară macroscopică, oamenii de ştiinţă s-au întrebat cât de mare şi de complex poate fi un obiect care îşi păstrează totuşi proprietăţile ondulatorii. S-ar crea desigur mare vâlvă dacă acest efect ar putea fi demonstrat pe oameni sau hipopotami, dar, aşa cum am mai spus, în general, cu cât un obiect e mai mare, cu atât efectele cuantice sunt mai puţin vizibile. Este deci puţin probabil ca un animal de la grădina zoologică să treacă în chip de undă prin gratiile cuştii. Totuşi, fizicienii experimentatori au observat fenomene ondulatorii la particule de dimensiuni din ce în ce mai mari. Oamenii de ştiinţă speră să refacă într-o bună zi experimentul cu fulerene folosind un virus, care nu numai că e mult mai mare, dar e considerat o fiinţă vie.

Pentru a înţelege argumentele din capitolele următoare trebuie precizate câteva aspecte ale fizicii cuantice. Una dintre trăsăturile-cheie este dualitatea undă/particulă. Faptul că o particulă materială se comportă ca o undă a surprins pe toată lumea. Faptul că lumina se comportă ca o undă nu mai surprinde de mult pe nimeni. Comportamentul ondulatoriu al luminii ni se pare firesc şi este acceptat de aproape două secole. Dacă proiectezi un fascicul luminos pe un perete cu două fante, ca în experimentul anterior, vor rezulta două unde care se vor întâlni pe ecran. În unele puncte, crestele sau văile lor vor coincide şi vor forma o pată luminoasă; în alte puncte, crestele unui fascicul se vor întâlni cu văile celuilalt, anulându-se reciproc şi lăsând o zonă întunecată. Fizicianul englez Thomas Young a efectuat acest experiment la începutul secolului XIX, convingând lumea că lumina e o undă, şi nu se compune din particule, aşa cum credea Newton.



EXPERIMENTUL LUI YOUNG Figura obținută în cazul fulerenelor era cunoscută din teoria ondulatorie a luminii.

Deşi am putea crede că Newton a greşit considerând că lumina nu este o undă, el a avut dreptate când a spus că ea se comportă ca şi cum ar fi alcătuită din particule. Astăzi numim aceste particule fotoni. Aşa cum noi suntem constituiţi dintr-un număr foarte mare de atomi, lumina pe care o vedem în viaţa de zi cu zi e compusă dintr-un număr foarte mare de fotoni – chiar şi un beculeţ de 1 watt emite un miliard de miliarde de fotoni în fiecare secundă. Fotonii individuali nu pot fi observaţi în mod curent, dar în laborator putem produce fascicule de lumină atât de slabă, încât constă dintr-un flux de fotoni individuali, care pot fi detectaţi separat, la fel cum putem detecta electronii individuali sau fulerenele individuale. Putem repeta experimentul lui Young folosind un fascicul atât de slab, încât fotonii să ajungă la fante unul câte unul, la interval de câteva secunde. Procedând astfel şi adunând apoi toate impacturile individuale înregistrate pe ecran, vedem că, împreună, ele formează aceeaşi figură de interferenţă pe care am fi găsit-o dacă am fi efectuat experimentul lui Davisson şi Germer cu electroni (sau cu fulerene) trimişi unul câte unul. Pentru fizicieni a fost o revelaţie: dacă particulele individuale interferă cu ele însele, atunci natura ondulatorie a luminii nu este doar proprietatea unui fascicul sau a unui ansamblu numeros de fotoni, ci chiar a

particulelor individuale.

O altă idee importantă a fizicii cuantice este principiul de incertitudine, formulat de Werner Heisenberg în 1926. Principiul de incertitudine spune că există limite ale capacităţii noastre de a măsura simultan anumite date, cum sunt poziţia şi viteza unei particule. Conform principiului de incertitudine, de pildă, dacă înmulţim imprecizia privind poziţia unei particule cu imprecizia privind impulsul (masa înmulţită cu viteza) ei, rezultatul nu va putea fi niciodată mai mic decât o cantitate fixă, numită constanta lui Planck. Pare complicat, dar în esenţă e simplu: cu cât măsori mai precis viteza, cu atât poţi măsura mai puţin precis poziţia, şi viceversa. De exemplu, dacă reduci la jumătate incertitudinea privind poziţia, va trebui să dublezi incertitudinea privind viteza. Este important de observat că, în comparaţie cu unităţile de măsură obişnuite, cum sunt metrul, kilogramul şi secunda, constanta lui Planck e foarte mică. De fapt, în unităţile noastre, valoarea ei este de aproximativ 6/10 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000. Prin urmare, dacă localizezi un obiect macroscopic, cum e o minge de fotbal, având masa de o treime dintr-un kilogram, cu o precizie de un milimetru în fiecare direcţie, îi poţi măsura viteza cu o precizie mult mai mare decât o miliardime de miliardime de miliardime de kilometru pe oră. Aceasta din cauza faptului că, măsurată în aceste unităţi, mingea de fotbal are o masă de 1/3, iar incertitudinea privind poziţia este de 1/1000, ceea ce nu-i de ajuns pentru a compensa toate acele zerouri din constanta lui Planck, şi atunci acest rol îi revine incertitudinii privind viteza. În aceleaşi unităţi, un electron are însă o masă de 0,000000000000000000000000000001, astfel încât pentru electroni situaţia e diferită. Dacă măsurăm poziţia unui electron cu o precizie corespunzând aproximativ dimensiunii unui atom, principiul de incertitudine ne spune că nu vom putea cunoaşte viteza electronului cu o precizie mai mare de plus sau minus 1000 kilometri pe secundă, ceea ce nu e prea exact.

Conform fizicii cuantice, indiferent câtă informaţie obţinem sau câtă putere de calcul avem la dispoziţie, rezultatele proceselor fizice nu pot fi prezise cu certitudine, deoarece acestea nu sunt *determinate* cu certitudine. Dată fiind starea iniţială a unui sistem, natura îi determină starea viitoare printr-un proces fundamental capricios. Cu alte cuvinte, natura nu dictează rezultatul oricărui proces sau experiment, nici măcar în cea mai simplă dintre situaţii, ci permite un număr de posibilităţi diferite, fiecare cu o anumită probabilitate de realizare. Pentru a-l parafraza pe Einstein, e ca şi cum Dumnezeu ar da cu zarurile înainte de a hotărî rezultatul fiecărui proces fizic. Ideea asta l-a frământat pe Einstein atât de mult, încât, deşi fusese unul dintre părinţii fizicii cuantice, a devenit apoi un critic al ei.

Fizica cuantică ar putea părea că subminează ideea că natura este guvernată de legi, dar nu e cazul. Dimpotrivă, ea ne conduce la o nouă formă de determinism. Dată fiind starea unui sistem la un moment dat, legile naturii determină *probabilităţile* diferitelor viitoruri şi trecuturi, în loc să determine viitorul şi trecutul cu certitudine. Deşi unora nu le e pe plac, oamenii de ştiinţă trebuie să accepte teorii care sunt în acord cu experimentele, iar nu cu ideile lor preconcepute.

Ceea ce pretinde ştiinţa de la o teorie e să fie testabilă. Dacă natura probabilistică a predicţiilor din fizica cuantică ar înseamnă ca acele predicţii să fie imposibil de confirmat, atunci teoriile cuantice n-ar mai fi teorii în adevăratul sens al cuvântului. Însă, în ciuda naturii probabilistice a predicţiilor lor, noi putem totuşi testa teoriile cuantice. De pildă, putem repeta de multe ori un experiment şi confirma că frecvenţele diferitelor rezultate corespund probabilităţilor prezise. Să considerăm experimentul cu fulerene. Fizica cuantică ne spune că nimic nu poate fi localizat într-un punct precis, fiindcă atunci incertitudinea privind impulsul ar fi infinită. De fapt, conform fizicii cuantice, pentru fiecare particulă există o probabilitate oarecare de a se găsi oriunde în univers. Astfel, chiar dacă şansele de a găsi un anumit electron în aparatul cu două fante e foarte mare, vor exista mereu oarecari şanse să-l găsim undeva pe steaua Alfa Centauri sau în plăcinta cu brânză de la cantină. Prin urmare, dacă lansezi o fulerenă cuantică şi o laşi să zboare, oricât de inteligent ai fi şi oricât de multe lucruri ai cunoaşte, nu vei va putea spune dinainte cu precizie unde anume va ateriza. Dar, dacă repeţi experimentul de multe ori, datele obţinute vor reflecta probabilitatea de a găsi fulerenă în diferite locuri, iar experimentatorii au confirmat că rezultatele acestor experimente concordă cu predicţiile teoriei.

Este important să înţelegem că probabilităţile din fizica cuantică nu sunt la fel ca probabilităţile din fizica newtoniană sau ca acelea din viaţa de zi cu zi. Putem vedea asta comparând tiparele generate de un flux constant de fulerene pe un ecran cu tiparul rezultat când tragem cu săgeţi la ţintă. Presupunând că jucătorii n-au consumat prea multă bere, şansele ca o săgeată să nimerească aproape de centru sunt cele mai mari, iar ele scad pentru zone mai îndepărtate de centru. În cazul fulerenelor, orice săgeată poate cădea oriunde, şi cu timpul apare o figură care reflectă probabilităţile aflate în spatele fenomenului. În viaţa de toate zilele putem ilustra această situaţie spunând că o săgeată are o anumită probabilitate de a ateriza într-un anumit loc; dar, spre deosebire de cazul fulerenelor, spunem asta doar pentru că nu cunoaştem perfect condiţiile de lansare a săgeţilor. Am putea îmbunătăţi descrierea dacă am cunoaşte exact felul în care fiecare jucător îşi lansează săgeata – unghiul sub care e lansată, viteza ei, rotaţia ei etc. Atunci, în principiu, am putea prezice cu o precizie

oricât de mare locul unde va ateriza săgeata. Folosirea termenilor probabilistici când vorbim despre rezultatul unor evenimente din viaţa de zi cu zi nu reflectă deci natura intrinsecă a procesului, ci doar ignoranţa noastră în privinţa anumitor aspecte ale lui.

Probabilităţile din teoria cuantică sunt diferite. Ele reflectă caracterul fundamental aleator al naturii. Modelul cuantic al naturii conţine principii care contrazic nu doar experienţa cotidiană, dar şi noţiunea noastră intuitivă de realitate. Cei care găsesc aceste principii stranii sau greu de crezut se află în bună companie, compania unor fizicieni precum Einstein sau chiar Feynman, a cărui descriere a teoriei cuantice o vom prezenta în curând. De fapt, Feynman scria odată: „Cred că pot spune cu certitudine că nimeni nu înţelege mecanica cuantică". Dar mecanica cuantică este în acord cu observaţiile. Nu a căzut la nici un test, şi a fost testată mai mult decât orice altă teorie din ştiinţă.

În anii '40 Richard Feynman a avut o intuiţie uimitoare legată de diferenţa dintre lumea newtoniană şi cea cuantică. El era preocupat de problema apariţiei figurilor de interferenţă în experimentul cu două fante. Amintiţi-vă că figura care apare atunci când lansăm moleculele către cele două fante deschise nu e suma figurilor pe care le obţinem când efectuăm experimentul cu o fantă deschisă şi cealaltă închisă, iar apoi invers. Dacă ambele fante sunt deschise, obţinem o serie de benzi luminoase şi întunecate, ultimele fiind în regiunile unde nu ajunge nicio particulă. Asta înseamnă că particulele care ar fi aterizat în zona întunecată dacă ar fi fost deschisă doar o fantă nu mai aterizează acolo atunci când şi cealaltă fantă e deschisă. Este ca şi cum undeva pe drumul de la sursă la ecran particula a obţinut o informaţie privind cele două fante. Este un comportament cu totul diferit de ceea ce se întâmplă în viaţa cotidiană, unde o minge urmează o traiectorie printr-una din fante fără să fie afectată de situaţia celeilalte fante.

Conform fizicii newtoniene – şi modului în care ar decurge experimentul dacă în locul moleculelor am folosi mingi de fotbal – fiecare particulă urmează un singur drum bine definit de la sursă la ecran. În această reprezentare nu intră în discuţie vreun ocol pe care l-ar face particula pentru a vizita vecinătăţile fiecărei fante. Însă, conform modelului cuantic, particula nu are o poziţie bine definită în timpul deplasării din punctul de pornire în punctul de sosire. Feynman a înţeles că nu trebuie să interpretăm aceasta ca şi cum particulele *n-ar* avea o traiectorie între sursă şi ecran, ci că ele pot urma *toate* traiectoriile posibile care leagă cele două puncte. Aceasta, susţinea Feynman, este ceea ce deosebeşte fizica cuantică de cea newtoniană. Situaţia la cele două fante contează fiindcă, în loc să aibă o singură traiectorie, particulele urmează toate traiectoriile posibile, şi o fac *simultan*! Sună cam SF, dar nu este. Feynman a elaborat o expresie

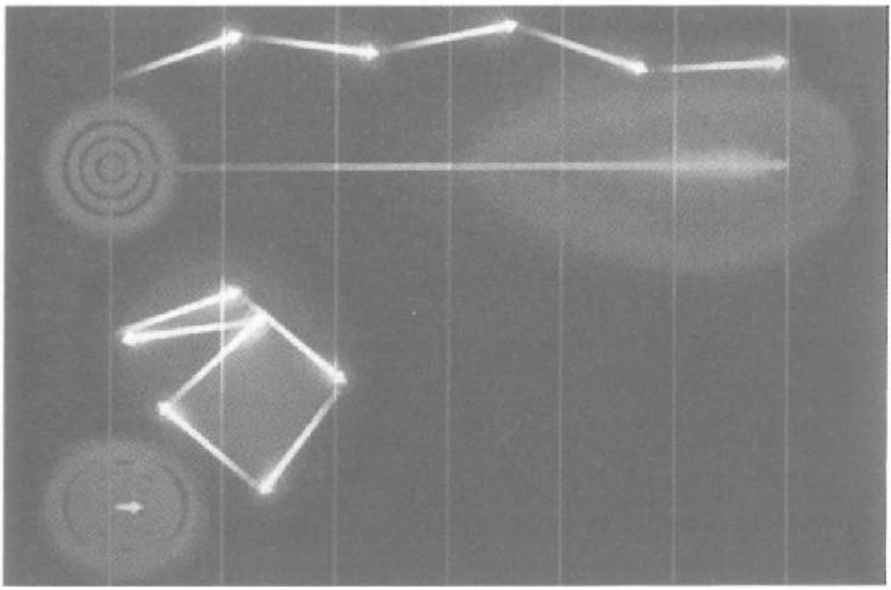
matematică – suma după istorii – care ilustrează această idee şi reproduce toate legile fizicii cuantice. În teoria lui Feynman, matematica şi imaginea fizică diferă de cele din formularea iniţială a fizicii cuantice, dar predicţiile sunt aceleaşi.

În experimentul cu două fante, ideea lui Feynman se traduce prin faptul că particulele urmează drumuri care trec doar printr-una din fante sau doar prin cealaltă; drumuri care trec prin prima fantă se întorc prin a doua fantă şi apoi trec din nou prin prima; drumuri care vizitează restaurantul unde se servesc acei minunaţi creveţi picanţi fac apoi de câteva ori înconjurul planetei Jupiter înainte de a se întoarce acasă; ba chiar şi drumuri care străbat universul şi se întorc. Aceasta explică, din perspectiva lui Feynman, cum află particula ce fantă e deschisă – iar, dacă e vreuna deschisă, particula trece prin ea. Atunci când ambele fante sunt deschise, drumurile pe care călătoreşte particula trecând printr-o fantă pot interacţiona cu drumurile care trec prin cealaltă, ceea ce produce interferenţa. Poate părea straniu, dar în cea mai mare parte a fizicii fundamentale de astăzi – şi în cartea de faţă – formularea lui Feynman se dovedeşte mai utilă decât cea iniţială.

Perspectiva lui Feynman privind realitatea cuantică e esenţială pentru înţelegerea teoriilor pe care le vom prezenta în curând, aşa încât merită să zăbovim puţin asupra ei. Închipuiţi-vă un proces simplu în care o particulă începe să se mişte liber dintr-un punct A. În modelul newtonian, particula se va deplasa în linie dreaptă. După un timp bine determinat, vom găsi particula în punctul B, bine determinat, aflat pe acea dreaptă. În modelul lui Feynman, o particulă cuantică încearcă fiecare dintre drumurile care leagă A de B, iar fiecărui drum îi corespunde un număr numit fază. Această fază reprezintă poziţia în ciclu a unei unde, adică ne spune dacă unda a ajuns în creastă, în vale sau într-o anume poziţie intermediară. Formalismul matematic al lui Feynman pentru calculul fazei arată că, atunci când aduni toate undele tuturor traiectoriilor, obţii „amplitudinea de probabilitate” pentru ca particula pornind din A să ajungă în B. Pătratul acestei amplitudini de probabilitate dă probabilitatea corectă ca particula să ajungă în B.

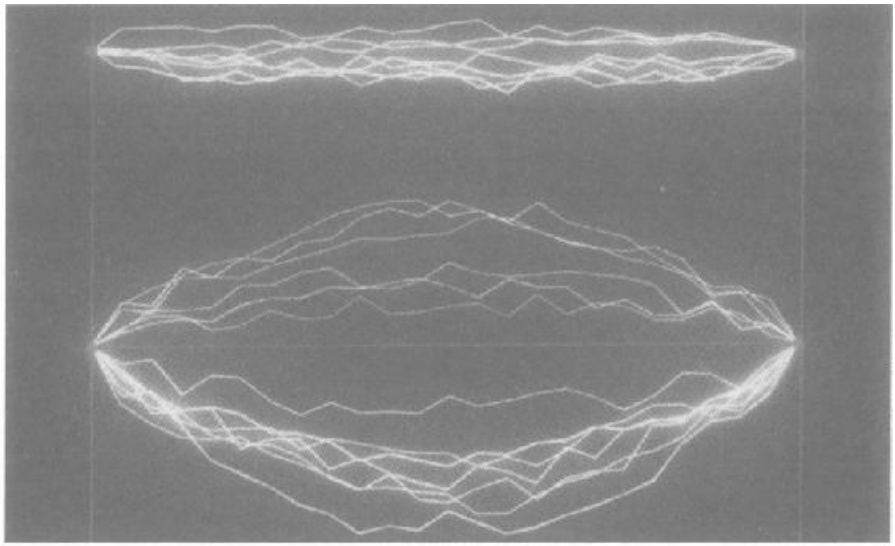
Faza fiecărei traiectorii individuale care contribuie la suma lui Feynman (şi deci la probabilitatea de a ajunge de la A la B) poate fi reprezentată ca o săgeată de lungime fixă, dar orientată în orice direcţie. Pentru a aduna două faze, trebuie să plasezi săgeata corespunzând uneia din faze la capătul săgeţii corespunzând celeilalte faze, iar astfel obţii o nouă săgeată corespunzând sumei. Pentru a aduna şi alte faze, n-ai decât să continui procesul. Observaţi că atunci când fazele sunt aliniate, săgeata corespunzând sumei va fi destul de lungă. Dar, dacă sunt orientate în direcţii diferite, când le aduni ele

tind să se anuleze reciproc, rămânând poate mai puţin decât o săgeată, după cum se vede în figura de mai jos.



ADUNAREA TRAIECTORIILOR LUI FEYNMAN Efectul datorat diferitelor traiectorii Feynman poate fi o sporire sau o diminuare reciprocă, la fel ca în cazul undelor. Săgeţile de sus reprezintă fazele care se adună. Liniile de dedesubt reprezintă suma lor, o dreaptă care porneşte de la coada primei săgeţi şi ajunge la vârful ultimei. În al doilea caz, săgeţile sunt orientate în direcţii diferite, aşa încât suma lor e foarte scurtă.

Pentru a efectua, după metoda lui Feynman, calculul amplitudinii de probabilitate ca particula să ajungă din punctul A în punctul B, trebuie să adunăm fazele (sau săgeţile) asociate fiecărei traiectorii ce leagă A de B. Există un număr infinit de traiectorii posibile, ceea ce complică puţin calculul, dar metoda funcţionează. Mai jos sunt ilustrate două traiectorii.



TRAIECTORIILE DE LA A LA B Traiectoria „clasică" dintre două puncte este o linie dreaptă. Fazele traiectoriilor apropiate de traiectoria clasică tind să se amplifice reciproc, în timp ce fazele traiectoriilor îndepărtate de ea tind să se anuleze.

Teoria lui Feynman ne dă o imagine foarte clară privind felul în care poate apărea reprezentarea newtoniană asupra lumii din fizica cuantică, deşi cele două par atât de diferite. Conform teoriei lui Feynman, fazele asociate fiecărei traiectorii depind de constanta lui Planck. Din cauza valorii atât de mici a constantei Planck, când adunăm contribuţiile traiectoriilor apropiate, fazele variază puternic şi, aşa cum se vede în figura de deasupra, ele tind să dea o sumă nulă. Dar teoria ne spune şi că există anumite drumuri ale căror faze au tendinţa de a se alinia, deci acele traiectorii sunt favorizate; cu alte cuvinte, ele aduc o contribuţie mai mare la comportamentul observat al particulei. Se dovedeşte că, pentru obiectele mari, traiectorii foarte asemănătoare celor prezise de Newton au faze asemănătoare şi se adună pentru a da de departe cea mai mare contribuţie la sumă, astfel încât singura destinaţie care are o probabilitate semnificativă va fi destinaţia prezisă de teoria lui Newton, iar această destinaţie are o probabilitate foarte aproape de unu. Prin urmare, obiectele mari se vor mişca exact aşa cum prezice teoria lui Newton.

Am prezentat până acum ideile lui Feynman în cadrul experimentului cu două fante. În acest experiment, particulele sunt lansate spre un perete cu două fante, iar noi măsurăm, pe un ecran aflat în spatele peretelui, locul unde ajung particulele. Mai general, în loc să fie vorba de o singură particulă, teoria lui Feynman ne permite

să prezicem rezultatul probabil al unui „sistem”, care poate fi o particulă, un ansamblu de particule sau chiar întregul univers. Între starea iniţială a sistemului şi măsurătorile ulterioare ale proprietăţilor sale, acele proprietăţi evoluează cumva, într-un fel pe care fizicienii îl numesc istoria sistemului. În experimentul cu două fante, de pildă, istoria particulei e pur şi simplu traiectoria ei. La fel cum în experimentul cu două fante probabilitatea ca particula să ajungă într-un punct dat depinde de toate drumurile posibile până acolo, Feynman a arătat că, pentru un sistem general, probabilitatea oricărei observaţii se construieşte din toate istoriile posibile care puteau conduce la acea observaţie. Din cauza acestui fapt metoda lui se numeşte „suma după istorii” sau formularea „istoriilor alternative” a fizicii cuantice.

Odată ce ne-am făcut o idee despre felul în care a abordat Feynman fizica cuantică, e momentul să examinăm un alt principiu-cheie pe care îl vom folosi mai târziu – principiul care spune că, observând un sistem, îi modificăm evoluţia ulterioară. N-am putea oare, aşa cum facem atunci când vedem că şeful are o pată de muştar pe obraz, să privim discret fără să intervenim? Nu. Conform fizicii cuantice, nu putem „doar” observa ceva. Cu alte cuvinte, fizica cuantică recunoaşte că, pentru a face o observaţie, trebuie să interacţionăm cu obiectul observat. De pildă, pentru a vedea un obiect în sens tradiţional, îl luminăm. Dacă luminăm un dovleac, fireşte că efectul asupra lui va fi foarte mic. Dar dacă luminăm chiar şi foarte slab o minusculă particulă cuantică – bombardând-o deci cu fotoni –, efectul poate fi considerabil, iar experimentele ne arată că rezultatele se modifică exact după cum prevede fizica cuantică.

Să presupunem, ca şi până acum, că trimitem un flux de particule către un paravan în experimentul cu două fante şi colectăm datele pentru primul milion de particule care trec prin paravan. Când reprezentăm grafic numărul particulelor care ajung în diferite puncte de detecţie, datele vor alcătui figurile de interferenţă prezentate la pagina 53, iar când adunăm fazele asociate tuturor traiectoriilor posibile de la punctul de pornire al particulei, A, la punctul de detecţie, B, vom găsi că toate probabilităţile calculate pentru diferitele puncte sunt în acord cu datele obţinute.

Să presupunem acum că repetăm experimentul, de data asta luminând fantele, astfel încât să cunoaştem un punct intermediar C prin care trec particulele. (C este poziţia uneia sau a alteia dintre fante.) Aceasta e o informaţie de tipul „care din drumuri”, fiindcă ne spune despre fiecare particulă dacă ajunge de la A la B prin fanta 1 sau prin fanta 2. Deoarece acum ştim despre fiecare particulă prin ce fantă a trecut, în suma traiectoriilor vom include numai acele traiectorii care au trecut prin fanta 1 sau numai acelea ce au trecut

prin fanta 2. Nu vom mai include atât traiectoriile care trec prin fanta 1, cât şi traiectoriile care trec prin fanta 2. Din moment ce Feynman a explicat figura de interferenţă spunând că drumurile printr-o fantă interferă cu drumurile prin cealaltă fantă, dacă aprindem lumina pentru a determina prin care fantă trec particulele, eliminând astfel cealaltă opţiune, vom face aşa încât figura de interferenţă să dispară. Şi, intr-adevăr, când efectuăm experimentul, aprinderea luminii modifică rezultatele: în locul figurii de interferenţă de la pagina 53 vom obţine figura de la pagina 52! Mai mult, putem efectua experimentul folosind o lumină foarte slabă, aşa încât nu toate particulele să interacţioneze cu lumina. În acest caz vom putea obţine informaţia „care din drumuri" doar pentru o submulţime de particule. Dacă împărţim apoi datele privind sosirea particulelor după cum obţinem sau nu informaţia „care din drumuri", vom găsi că datele corespunzând submulţimii pentru care nu avem informaţia formează figura de interferenţă, iar submulţimea datelor corespunzând particulelor pentru care avem informaţia nu prezintă interferenţă.

Aceasta are consecinţe importante asupra ideii noastre de „trecut". În teoria newtoniană se presupune că trecutul există ca o serie precisă de evenimente. Dacă vezi vasul pe care l-ai cumpărat anul trecut în Italia zăcând spart pe jos şi copilul tău stă aplecat asupra lui cu o privire spăşită, poţi reconstitui evenimentele care au condus la incident: degeţelele care îl scapă, vasul căzând şi făcându-se ţăndări. De fapt, având date complete despre prezent, legile lui Newton ne permit să calculăm o imagine completă a trecutului. Acest fapt e în acord cu înţelegerea noastră intuitivă, fie că ne place sau nu, că lumea are un trecut bine definit. Poate că nimeni nu l-a observat, dar existenţa trecutului e certă, ca şi când ai fi făcut o serie de instantanee ale lui. Despre o fulerenă cuantică nu se poate spune însă că a urmat o traiectorie precisă de la sursă la ecran. Putem determina poziţia unei fulerene observând-o, dar între observaţiile noastre ea urmează toate traiectoriile posibile. Fizica cuantică ne spune că oricât de amănunţite ar fi observaţiile noastre asupra prezentului, trecutul (neobservat), la fel ca viitorul, e nedefinit şi există doar ca un spectru de posibilităţi. Conform fizicii cuantice, universul nu are doar un singur trecut sau o singură istorie.

Faptul că trecutul nu ia o formă precisă înseamnă că observaţiile pe care le facem asupra unui sistem în prezent îi influenţează trecutul. Acest fapt e pus spectaculos în evidenţă de un experiment conceput de fizicianul John Wheeler şi numit experiment cu alegere întârziată. În linii mari, un experiment cu alegere întârziată seamănă cu experimentul cu două fante, prezentat mai sus, în care ai opţiunea de a observa traiectoria particulelor, doar că amâni hotărârea de a observa sau nu traiectoria până exact înainte de momentul în care

particula loveşte ecranul detector.

Rezultatele experimentului cu alegere întârziată sunt identice cu ale celui în care am ales să observăm (sau să nu observăm) care din drumuri e urmat, privind fantele. Dar, în acest caz, drumul urmat de fiecare particulă – adică trecutul ei – e determinat mult după ce a trecut prin fante şi după ce se presupune că a avut de „hotărât" dacă să treacă printr-o singură fantă, ceea ce nu produce interferenţă, sau să treacă prin ambele, ceea ce produce interferenţă.

Wheeler s-a gândit chiar şi la o versiune cosmică a experimentului, în care particulele implicate sunt fotoni emişi de cuasari puternici situaţi la miliarde de ani-lumină. O asemenea lumină poate fi împărţită în două fascicule şi refocalizată spre Pământ de lentilele gravitaţionale ale unei galaxii aflate în drum. Deşi experimentul e în afara posibilităţilor tehnologice actuale, dacă am putea colecta suficienţi fotoni din această lumină, ei ar trebui să formeze o figură de interferenţă. Dacă am plasa un dispozitiv pentru a măsura informaţia „care din drumuri" înainte de detecţie, figura de interferenţă ar trebui să dispară. În acest caz, alegerea de a urma una din traiectorii sau ambele a fost luată acum câteva miliarde de ani, înainte ca Pământul sau chiar Soarele să fi apărut, şi totuşi, făcând observaţia în laboratorul nostru, vom influenţa acea alegere.

În acest capitol am ilustrat fizica cuantică apelând la experimentul cu două fante. În cele ce urmează vom aplica formularea Feynman a mecanicii cuantice la univers în întregul lui. Vom vedea că, la fel ca o particulă, universul nu are doar o singură istorie, ci toate istoriile posibile, fiecare cu probabilitatea ei, şi că observaţiile noastre asupra stării lui actuale îi influenţează trecutul şi determină diferitele istorii ale universului, la fel cum observaţiile asupra particulelor în experimentul cu două fante influenţează trecutul particulelor. Această analiză va arăta cum decurg din big bang legile naturii în universul nostru. Dar, înainte de a vedea cum apar aceste legi, vom vorbi puţin despre ele şi despre câteva dintre problemele pe care le ridică.

5.
Teoria a tot ce există

Cel mai de neînţeles lucru în privinţa universului este că poate fi înţeles.

Albert Einstein

Universul poate fi înţeles pentru că e guvernat de legi ale ştiinţei; cu alte cuvinte, comportamentul lui poate fi modelat. Dar ce sunt aceste legi sau modele? Gravitaţia a fost prima forţă descrisă în limbaj matematic. Legea newtoniană a gravitaţiei, publicată în 1687, spune că fiecare obiect din univers atrage toate celelalte obiecte din univers cu o forţă proporţională cu masa lui. Ea a impresionat puternic lumea intelectuală de atunci fiindcă arăta pentru prima dată că cel puţin un aspect al universului putea fi modelat cu precizie şi stabilea aparatul matematic pentru aceasta. Ideea că există legi ale naturii ducea la concluzii asemănătoare celor pentru care Galilei fusese condamnat pentru erezie cu vreo cincizeci de ani mai devreme. De exemplu, Biblia spune povestea lui Iosua, care s-a rugat ca Soarele şi Luna să-şi oprească cursul, aşa încât să aibă parte de mai multă lumină pentru a-şi încheia lupta cu amoreii din Canaan. Conform Cărţii lui Iosua, Soarele s-a oprit pentru o zi. Astăzi ştim că asta ar fi însemnat ca Pământul să nu se mai învârtă. Dacă Pământul s-ar opri, conform legilor lui Newton, orice obiect care n-ar fi legat de el ar rămâne în mişcare cu viteza iniţială a Pământului (aproximativ 1800 km pe oră la ecuator) – un preţ prea mare de plătit pentru un apus întârziat. Newton nu şi-a făcut probleme pentru nimic din toate acestea, fiindcă, aşa cum am mai spus, el credea că Dumnezeu poate interveni şi chiar intervine în funcţionarea universului.

Următoarele aspecte ale universului pentru care a fost descoperită o lege sau un model au fost forţele electrice şi magnetice. Ele se comportă precum gravitaţia, cu diferenţa importantă că două sarcini electrice sau doi magneţi de acelaşi fel se resping, iar sarcinile diferite sau magneţii cu poli diferiţi se atrag. Forţele electrice şi magnetice sunt cu mult mai puternice decât gravitaţia, dar în mod obişnuit nu ne

dăm seama de asta, deoarece corpurile macroscopice conţin un număr aproape egal de sarcini electrice pozitive şi negative. Aceasta înseamnă că forţele electrice şi magnetice dintre două corpuri macroscopice se anulează reciproc, spre deosebire de forţele gravitaţionale, care se adună.

Ideile noastre actuale despre electricitate şi magnetism au fost elaborate într-un interval de aproape o sută de ani, de la mijlocul secolului XVIII până la mijlocul secolului XIX, când fizicieni din mai multe ţări au efectuat studii experimentale amănunţite ale forţelor electrice şi magnetice. Una dintre cele mai importante descoperiri a fost aceea că forţele electrice şi cele magnetice sunt înrudite: o sarcină electrică în mişcare acţionează cu o forţă asupra unui magnet, iar un magnet în mişcare acţionează cu o forţă asupra unei sarcini electrice. Primul care şi-a dat seama că există o legătură a fost fizicianul danez Hans Christian Ørsted. În 1820, pe când pregătea un curs pe care urma să-l ţină la universitate, Ørsted a observat cum curentul electric de la o baterie pe care o folosea a deviat acul magnetic al unei busole aflate în apropiere. Şi-a dat seama repede că electricitatea în mişcare creează o forţă magnetică, şi a inventat termenul „electromagnetism”. Câţiva ani mai târziu, fizicianul britanic Michael Faraday s-a gândit că – exprimându-ne în termeni moderni – dacă un curent electric poate produce un câmp magnetic, atunci un câmp magnetic ar trebui să poată produce un curent electric. El a demonstrat acest efect în 1831. Paisprezece ani mai târziu, Faraday a descoperit şi o legătură între electromagnetism şi lumină, când a arătat că un magnetism intens poate influenţa natura luminii polarizate.

Faraday era mai curând autodidact. Se născuse în apropierea Londrei, în familia unui fierar sărac, şi a părăsit şcoala la vârsta de treisprezece ani ca să lucreze ca legător de cărţi şi comisionar într-o librărie. De-a lungul anilor, şi-a completat educaţia ştiinţifică citind cărţile de care trebuia să aibă grijă şi făcând experienţe simple şi ieftine în timpul liber. În cele din urmă a devenit asistent în laboratorul marelui chimist sir Humphry Davy. Faraday a rămas acolo 45 de ani, adică tot restul vieţii sale, iar după moartea lui Davy i-a urmat acestuia la conducerea laboratorului. Faraday avea probleme cu matematica şi niciodată n-a stăpânit-o, aşa încât pentru el a fost un mare efort să conceapă o imagine teoretică a fenomenelor electromagnetice stranii pe care le-a observat în laboratorul său. Şi totuşi a reuşit.

Una dintre cele mai mari contribuţii ale lui Faraday a fost ideea câmpurilor de forţe. În zilele noastre, graţie cărţilor şi filmelor despre extratereştrii cu ochi de insectă şi navele lor spaţiale, multă lume e familiarizată cu termenul, aşa încât i s-ar cuveni poate drepturi de autor. Dar, în secolele dintre Newton şi Faraday, unul dintre marile

mistere ale fizicii era acela că legile păreau să indice că forţele acţionează prin spaţiul gol ce separă obiectele aflate în interacţiune. Asta nu-i plăcea lui Faraday. El credea că, pentru a deplasa un obiect, ceva trebuie să intre în contact cu acel obiect. Astfel, el şi-a imaginat că spaţiul dintre sarcini electrice şi magneţi este umplut cu tuburi invizibile care acţionează fizic împingând şi trăgând. Faraday a numit aceste tuburi câmp de forţă. Un mod simplu de a vizualiza câmpul de forţă este efectuarea acelei demonstraţii didactice în care o placă de sticlă pe care se află pilitură de fier e aşezată deasupra unui magnet. După câteva bătăi uşoare în placă pentru a învinge frecarea, pilitura se deplasează ca împinsă de o putere nevăzută şi se aranjează sub formă de arce care se întind de la un pol al magnetului la celălalt. Această figură e harta unei forţe magnetice nevăzute ce străbate spaţiul. Astăzi noi credem că toate forţele sunt transmise prin câmpuri, aşa încât avem de-a face cu un concept important în fizica modernă – dar şi în science-fiction.

Timp de câteva decenii înţelegerea electromagnetismului s-a limitat la cunoaşterea câtorva legi empirice: indiciul că electricitatea şi magnetismul sunt în chip misterios strâns corelate; ideea că ele sunt cumva legate de lumină; noţiunea embrionară de câmp. Existau cel puţin unsprezece teorii ale electromagnetismului, toate false. Apoi, pe la 1860, fizicianul scoţian James Clerk Maxwell a creat pentru ideile lui Faraday un cadru matematic ce explica legătura profundă şi tainică dintre electricitate, magnetism şi lumină. Rezultatul a fost un set de ecuaţii care prezintă forţele electrice şi magnetice ca manifestări ale unei aceleiaşi entităţi fizice, câmpul electromagnetic. Maxwell a unificat electricitatea şi magnetismul într-o singură forţă. Mai mult, el a arătat că acest câmp electromagnetic se poate propaga în spaţiu ca o undă. Viteza de propagare a acestei unde e guvernată de un număr ce apare în ecuaţiile sale, pe care l-a calculat pornind de la datele experimentale obţinute cu câţiva ani înainte. Spre surprinderea sa, viteza calculată era exact viteza luminii, cunoscută experimental pe atunci cu o precizie de unu la sută. El a descoperit că lumina însăşi este o undă electromagnetică!

Astăzi ecuaţiile care descriu câmpurile electric şi magnetic se numesc ecuaţiile lui Maxwell. Puţină lume a auzit de ele, dar acestea sunt probabil cele mai importante ecuaţii din punct de vedere comercial din câte se cunosc. Nu numai că guvernează funcţionarea tuturor aparatelor, de la electrocasnice la computere, însă ele descriu şi alte unde decât lumina, precum microundele, undele radio, lumina infraroşie şi razele X. Toate acestea se deosebesc de lumina vizibilă doar într-o singură privinţă – lungimea de undă. Undele radio au lungimi de undă de ordinul unui metru sau mai mult, în timp ce lumina vizibilă are lungimea de undă de ordinul zecimilor de

milionimi dintr-un metru, iar razele X au lungimi de undă mai scurte decât o sutime de milionime dintr-un metru. Soarele nostru emite în toate lungimile de undă, dar radiaţia sa cea mai intensă este în domeniul lungimilor de undă vizibile nouă. Probabil că nu e întâmplător faptul că putem vedea cu ochiul liber exact lungimile de undă în care Soarele radiază cel mai intens: ochiul nostru a evoluat pesemne având capacitatea de a detecta radiaţia electromagnetică în acest domeniu de lungimi de undă tocmai pentru că asemenea lungimi de undă sunt disponibile din plin. Dacă ne vom întâlni vreodată cu fiinţe de pe alte planete, ele vor avea probabil capacitatea de a „vedea" o radiaţie având lungimile de undă pe care soarele lor le emite cel mai intens, cu o corecţie depinzând de unii factori cum ar fi caracteristicile prafului şi gazelor din atmosfera acelei planete, care obturează lumina. Prin urmare, extratereştrii care au evoluat în prezenţa razelor X ar putea face o carieră frumoasă în securitatea aeroporturilor.

Din ecuaţiile lui Maxwell rezultă că undele electromagnetice se propagă cu o viteză de aproximativ 300.000 kilometri pe secundă. Dar a prezenta valoarea unei viteze nu înseamnă nimic dacă nu precizezi un sistem de referinţă în raport cu care viteza e măsurată. În viaţa de zi cu zi, de regulă nu e nevoie să te gândeşti la aşa ceva. Atunci când un indicator limitează viteza la 80 de kilometri pe oră, se înţelege că viteza e măsurată în raport cu drumul, iar nu cu o gaură neagră din centrul Căii-Lactee. Dar chiar şi în viaţa de zi cu zi apar situaţii în care trebuie să ţinem cont de sistemul de referinţă. De pildă, dacă duci o ceaşcă de ceai pe culoarul unui avion în zbor, poţi spune că ai o viteză de 3 km pe oră. Cineva aflat pe sol ar putea spune că te mişti cu 920 km pe oră. Dacă vă închipuiţi cumva că unul sau altul din aceşti observatori e mai îndreptăţit să susţină că afirmaţia lui e adevărată, gândiţi-vă că, din cauza rotaţiei Pământului în jurul Soarelui, cineva care te-ar urmări de pe suprafaţa acelui corp ceresc nu ar fi de acord cu niciunul din cei doi şi ar susţine că te deplasezi cu aproximativ 30 km pe secundă, ca să nu mai vorbim că te-ar invidia pentru aerul condiţionat. Ţinând cont de asemenea neînţelegeri, atunci când Maxwell a pretins că a descoperit „viteza luminii" apărând în ecuaţiile sale, întrebarea firească a fost: în raport cu ce era măsurată viteza luminii din ecuaţiile lui Maxwell?

Nu avem niciun motiv să credem că parametrul viteză din ecuaţiile lui Maxwell e o viteză măsurată în raport cu Pământul. La urma urmei, ecuaţiile sale se aplică întregului univers. Un răspuns luat în considerare pentru un timp a fost acela ca viteza luminii din ecuaţiile lui Maxwell este raportată la un mediu încă nedetectat ce ar umple întreg spaţiul, numit eter luminos sau, pe scurt, eter – termen folosit de Aristotel pentru a desemna substanţa care credea el că umple întreg

universul din afara sferei terestre. Ipoteticul eter ar fi fost mediul prin care se propagă undele electromagnetice, aşa cum sunetul se propagă prin aer. Dacă eterul ar exista, ar însemna că există un reper absolut pentru repaus (adică repausul în raport cu eterul), şi deci o modalitate absolută de a defini mişcarea. Eterul ar oferi un sistem de referinţă privilegiat în întreg universul, în raport cu care s-ar putea măsura viteza oricărui obiect. Prin urmare, existenţa eterului a fost postulată pe baze teoretice, îndemnându-i astfel pe unii oameni de ştiinţă să găsească o cale de a-l studia, sau măcar de a-i confirma existenţa. Unul dintre ei a fost însuşi Maxwell.

Dacă te deplasezi prin aer către o undă sonoră, unda se apropie mai repede, iar, dacă te deplasezi în direcţia opusă, ea se apropie mai încet. În mod asemănător, dacă ar exista eterul, viteza luminii ar depinde de mişcarea ta în raport cu eterul. De fapt, dacă lumina s-ar comporta ca sunetul, aşa cum pasagerii de la bordul unui avion supersonic nu pot auzi niciodată un sunet emis din spatele avionului, la fel şi călătorii care ar zbura prin eter suficient de repede ar putea ajunge din urmă o undă luminoasă. Pornind de la asemenea consideraţii, Maxwell a propus un experiment. Dacă ar exista eter, Pământul ar trebui să se mişte prin eter atunci când se roteşte în jurul Soarelui. Şi, deoarece Pământul se deplasează într-o direcţie diferită în ianuarie, de pildă, faţă de direcţia în care se deplasează în aprilie sau iunie, ar trebui să putem observa o mică diferenţă în valoarea vitezei luminii la momente diferite din an.

Maxwell a vrut să-şi publice ideea în *Proceedings of the Royal Society*, dar editorul i-a spus că nu crede că experimentul va reuşi. Însă, în 1879, cu puţină vreme înainte de a muri la vârsta de 48 de ani din cauza unui dureros cancer la stomac, Maxwell i-a trimis unui prieten o scrisoare pe această temă. Scrisoarea a fost publicată postum în revista *Nature*, unde a fost citită între alţii şi de un fizician american pe nume Albert Michelson. Stimulaţi de speculaţia lui Maxwell, în 1887, Michelson şi Edward Morley au efectuat un experiment foarte precis, destinat să măsoare viteza cu care se deplasează Pământul prin eter. Ideea lor era să compare viteza luminii în două direcţii perpendiculare între ele. Dacă viteza luminii ar fi fost un număr fix în raport cu eterul, din măsurători ar fi trebuit să reiasă viteze diferite ale luminii, în funcţie de direcţia fasciculului. Dar Michelson şi Morley n-au găsit vreo astfel de diferenţă.

Rezultatul experienţei lui Michelson şi Morley era clar în contradicţie cu modelul undelor electromagnetice călătorind prin eter, şi ar fi trebuit să conducă la abandonarea modelului eterului. Dar scopul lui Michelson era să măsoare viteza Pământului faţă de eter, nu să confirme sau să infirme ipoteza eterului, iar ceea ce a găsit nu l-a condus la concluzia că eterul nu există. Nici alţii n-au tras această

concluzie. De fapt, celebrul fizician sir William Thomson (lord Kelvin) a spus în 1884 că eterul e „singura substanţă pe care ne bazăm în dinamică. Suntem siguri de un lucru, iar acesta e realitatea şi substanţialitatea eterului luminos".

Cum mai poţi să crezi în eter după rezultatele experimentului Michelson-Morley? Aşa cum am mai spus, oamenii încearcă adesea să salveze modelul inventând adaosuri ad-hoc. Unele postulau că Pământul trage eterul cu el, deci de fapt nu ne-am mişca în raport cu eterul. Fizicianul olandez Hendrik Antoon Lorentz şi fizicianul irlandez George Francis Fitzgerald au sugerat că, într-un sistem care se mişcă în raport cu eterul, probabil din cauza vreunui efect mecanic încă necunoscut, ceasurile încetinesc şi distanţele se contractă, astfel încât să măsurăm aceeaşi viteză a luminii. Asemenea eforturi de a salva noţiunea de eter au continuat aproape douăzeci de ani, până la un remarcabil articol al unui tânăr şi necunoscut funcţionar la biroul de brevete din Berna, Albert Einstein.

Einstein avea douăzeci şi şase de ani în 1905, când a publicat articolul *„Zur Elektrodynamik bewegter Körper" („Despre electrodinamica corpurilor în mişcare")*. El a făcut aici presupunerea simplă că legile fizicii, şi în particular viteza luminii, ar trebui să fie aceleaşi pentru toţi observatorii aflaţi în mişcare uniformă. Se dovedeşte că această idee presupune o revoluţie în ideile noastre despre spaţiu şi timp. Ca să înţelegem de ce, să ne imaginăm două evenimente care se petrec în acelaşi loc, dar la momente diferite, într-un avion în zbor. Pentru un observator din avion, distanţa dintre cele două evenimente va fi zero. Dar, pentru un observator aflat la sol, evenimentele vor fi separate prin distanţa parcursă de avion între cele două evenimente. Aceasta ne arată că doi observatori care se deplasează unul faţă de altul nu vor fi de acord în privinţa distanţei dintre două evenimente.

Să presupunem acum că cei doi observatori văd un puls luminos călătorind de la coada avionului către vârf. La fel ca în exemplul de mai sus, ei nu vor cădea de acord asupra distanţei parcurse de lumină de la emiterea ei în coada avionului până la recepţia ei în vârf. Deoarece viteza e distanţa parcursă împărţită la timpul scurs, aceasta înseamnă că, în cazul în care ei vor fi de acord în privinţa vitezei – viteza luminii –, atunci nu vor fi de acord în privinţa intervalului de timp scurs între emisie şi recepţie.

Stranietatea situaţiei stă în faptul că deşi cei doi observatori măsoară timpi diferiţi, ei urmăresc *acelaşi proces fizic*. Einstein n-a încercat să construiască o explicaţie artificială pentru asta. El a tras o concluzie logică, chiar dacă şocantă, spunând că măsurarea timpului scurs şi a distanţei parcurse depind de observatorul care face măsurătorile. Acest efect e unul dintre aspectele-cheie ale teoriei din articolul publicat de Einstein în 1905, teorie numită relativitatea

specială.

Pentru a vedea cum se aplică această analiză la instrumentele de măsurare a timpului, să considerăm doi observatori care privesc un ceas. Relativitatea specială ne spune că ceasul merge mai repede conform observatorului aflat în repaus faţă de ceas. Pentru observatori care nu se află în repaus în raport cu ceasul, acesta merge mai încet. Asimilând un puls luminos ce călătoreşte de la coada avionului către vârf cu ticăitul ceasului, vedem că pentru observatorul de la sol ceasul merge mai încet fiindcă fasciculul de lumină are de parcurs o distanţă mai mare în sistemul său de referinţă. Acest efect nu depinde de mecanismul ceasului; el e valabil pentru toate ceasurile, chiar şi pentru ceasul nostru biologic.

Articolul lui Einstein arăta că, la fel ca noţiunea de repaus, timpul nu poate fi absolut, aşa cum credea Newton. Cu alte cuvinte, nu poţi atribui fiecărui eveniment un timp cu care să fie de acord toţi observatorii. Toţi observatorii au propria lor măsură a timpului, iar timpii măsuraţi de doi observatori în mişcare relativă unul faţă de altul nu vor fi identici. Ideile lui Einstein contrazic intuiţia noastră, dar consecinţele lor nu sunt observabile la viteze cu care avem de-a face în mod obişnuit. Ele au fost confirmate experimental de nenumărate ori. De pildă, închipuiţi-vă un ceas de referinţă aflat în repaus în centrul Pământului, alt ceas pe suprafaţa Pământului şi un al treilea la bordul unui avion care zboară fie în direcţia de rotaţie a Pământului, fie în direcţia contrară. În raport cu ceasul din centrul Pământului, ceasul de la bordul avionului care zboară spre est – în sensul rotaţiei Pământului – se deplasează mai repede decât ceasul de la suprafaţă, deci trebuie să meargă mai încet. În mod asemănător, în raport cu ceasul din centrul Pământului, ceasul de la bordul avionului care zboară spre vest – în sens contrar rotaţiei Pământului – se deplasează mai încet decât ceasul de la suprafaţă, deci trebuie să meargă mai repede decât ceasul de la suprafaţă. Iar exact acest lucru a fost observat când, într-un experiment efectuat în octombrie 1971, un ceas atomic extrem de precis a zburat în jurul lumii. Vă puteţi deci prelungi viaţa zburând mereu către est în jurul lumii, dar s-ar putea să vă plictisească să tot vedeţi acele filme pe care vi le oferă liniile aeriene. În plus, efectul e foarte mic, cam 180 de miliardimi de secundă pe circuit (iar cifra e puţin micşorată de efectele diferenţei de gravitaţie, dar nu e momentul să vorbim acum despre asta).

Graţie lui Einstein, fizicienii au înţeles că, impunând ca viteza luminii să fie aceeaşi în toate sistemele de referinţă, din teoria electricităţii şi magnetismului a lui Maxwell rezultă că timpul nu poate fi tratat separat de cele trei dimensiuni ale spaţiului. Timpul şi spaţiul sunt intercorelate. Este ca şi cum s-ar adăuga o a patra dimensiune viitor/trecut la cele obişnuite stânga/dreapta, înainte/

înapoi şi sus/jos. Fizicienii numesc acest mariaj al spaţiului cu timpul „spaţiu-timp”, şi fiindcă spaţiul-timp include o a patra direcţie, ei o numesc a patra dimensiune. În spaţiu-timp, timpul nu mai e separat de cele trei dimensiuni spaţiale, şi, vorbind în termeni intuitivi, la fel cum definiţiile pentru sus/jos, dreapta/stânga, înainte/înapoi depind de orientarea observatorului, şi direcţia timpului depinde de viteza observatorului. Observatorii care se deplasează cu viteze diferite vor alege direcţii diferite pentru timp în spaţiu-timp. Teoria relativităţii speciale a lui Einstein era prin urmare un model nou, care s-a debarasat de noţiunile de timp absolut şi repaus absolut (adică repaus în raport cu eterul fix).

Einstein a înţeles repede că pentru ca gravitaţia să fie compatibilă cu relativitatea mai era nevoie de o schimbare. Conform teoriei newtoniene a gravitaţiei, la orice timp dat obiectele sunt atrase unul către altul cu o forţă ce depinde de distanţa dintre ele la acel moment. Dar teoria relativităţii abolise noţiunea de timp absolut, aşa încât nu mai exista niciun mod de a defini când trebuie măsurată distanţa dintre mase. Aşadar, teoria newtoniană a gravitaţiei nu mai era compatibilă cu teoria relativităţii speciale şi trebuia modificată. Această contradicţie ar putea părea mai curând o dificultate de ordin tehnic, sau chiar un detaliu care ar putea fi cumva eludat fără a schimba mult teoria. S-a dovedit însă că nimic nu era mai departe de adevăr.

În următorii unsprezece ani Einstein a elaborat o nouă teorie a gravitaţiei, pe care a numit-o relativitate generală. Noţiunea de gravitaţie în relativitatea generală nu seamănă cu cea a lui Newton. Ea se bazează pe ideea revoluţionară că spaţiul-timp nu e plat, aşa cum se presupunea până atunci, ci curbat şi distorsionat de masele şi energiile aflate în el.

O bună metodă de a ne reprezenta curbura este să ne gândim la suprafaţa Pământului. Deşi suprafaţa Pământului e doar bidimensională (există doar două direcţii de-a lungul ei, de pildă, nord/sud şi est/vest), vom folosi acest exemplu fiindcă un spaţiu curb bidimensional e mai uşor de imaginat decât un spaţiu curb cvadridimensional. Geometria spaţiilor curbe, cum e suprafaţa Pământului, nu mai este geometria euclidiană cu care suntem obişnuiţi. De pildă, pe suprafaţa Pământului cea mai scurtă distanţă dintre două puncte – care în geometria euclidiană e o dreaptă – este drumul ce uneşte două puncte de-a lungul unui cerc mare. (Un cerc mare este cercul de pe suprafaţa Pământului al cărui centru coincide cu centrul Pământului. Ecuatorul e un exemplu de cerc mare, iar la fel este orice cerc obţinut rotind ecuatorul de-a lungul diferitelor diametre.)

Imaginaţi-vă, de pildă, că vrem să călătorim de la New York la

Madrid, două oraşe aflate cam la aceeaşi latitudine. Dacă Pământul ar fi plat, cel mai scurt drum ar fi drept spre est. Procedând astfel, veţi ajunge la Madrid după 5965 km. Dar, din cauza curburii Pământului, există un drum care pe harta plană pare curbat, deci mai lung, însă în realitate e mai scurt. Veţi face numai 5800 km dacă veţi urma ruta de pe cercul mare, adică mai întâi veţi merge spre nord-est, apoi spre est, iar în fine spre sud-est. Diferenţa de distantă dintre cele două rute se datorează curburii Pământului şi e un semn al geometriei lui neeuclidiene. Companiile aviatice cunosc acest lucru şi îi pun pe piloţi să urmeze cercurile mari ori de câte ori e cazul.

Conform legilor de mişcare ale lui Newton, obiecte cum sunt ghiulelele, cornurile şi planetele se mişcă în linii drepte dacă asupra lor nu acţionează o forţă precum gravitaţia. Dar, în teoria lui Einstein, gravitaţia nu e o forţă la fel ca celelalte, ci e o consecinţă a faptului că masa distorsionează spaţiul-timp, creând o curbură. În teoria lui Einstein obiectele se mişcă pe geodezice, care sunt echivalentul liniilor drepte în spaţiul curbat. Dreptele sunt geodezice în spaţiul plat, iar cercurile mari sunt geodezice pe suprafaţa Pământului. În absenţa materiei, geodezicele din spaţiul-timp cvadridimensional corespund dreptelor din spaţiul tridimensional. Atunci când materia e prezentă, distorsionând spaţiul-timp, traiectoriile corpurilor în spaţiul tridimensional corespunzător sunt curbate într-un mod care, în teoria newtoniană a gravitaţiei, era explicat prin atracţia gravitaţională. Atunci când spaţiul-timp nu e plat, traiectoriile obiectelor apar curbate, dând impresia că asupra lor acţionează o forţă.

Teoria generală a relativităţii reproduce relativitatea specială dacă gravitaţia nu e prezentă, şi face aproape aceleaşi predicţii ca teoria lui Newton în mediul de gravitaţie scăzută al sistemului nostru solar – dar nu exact aceleaşi. De fapt, dacă nu s-ar ţine cont de relativitatea generală în sistemele de navigaţie GPS prin satelit, erorile în poziţionarea globală s-ar acumula într-un ritm de zece kilometri pe zi! Adevărata importanţă a relativităţii generale nu constă însă în aplicaţiile ei la dispozitive care vă conduc către noi restaurante, ci în faptul că e un model foarte diferit al universului, care prezice noi fenomene, cum sunt undele gravitaţionale şi găurile negre. Iar astfel, relativitatea generală a transformat fizica în geometrie. Tehnologia modernă e suficient de fină pentru a ne permite să testăm relativitatea generală, şi ea a trecut toate testele.

Deşi ambele au revoluţionat fizica, teoria electromagnetismului a lui Maxwell şi teoria gravitaţiei a lui Einstein (relativitatea generală) sunt, la fel ca fizica lui Newton, teorii clasice. Altfel spus, ele sunt modele în care universul are o singură istorie. După cum am văzut în capitolul precedent, la nivel atomic şi subatomic, aceste modele intră în contradicţie cu observaţiile. În locul lor trebuie să folosim teorii

cuantice în care universul poate avea toate istoriile posibile, fiecare dintre ele cu propria intensitate sau amplitudine de probabilitate. Pentru calcule practice implicând lumea cotidiană, putem continua să folosim teoriile clasice, dar, dacă vrem să înţelegem comportamentul atomilor şi moleculelor, avem nevoie de versiunea cuantică a teoriei lui Maxwell pentru electromagnetism; iar, dacă vrem să înţelegem începutul universului, când materia şi energia erau comprimate într-un volum mic, trebuie să apelăm la o versiune cuantică a relativităţii generale. Avem nevoie de aceste teorii şi pentru că, aflându-ne în căutarea unei înţelegeri fundamentale a naturii, aceasta n-ar fi coerentă dacă unele legi ar fi cuantice, iar altele clasice. Trebuie deci să găsim versiuni cuantice ale tuturor legilor naturii. Asemenea teorii se numesc teorii cuantice de câmp.

Forţele cunoscute din natură pot fi împărţite în patru clase:

1. *Gravitaţia*. Este cea mai slabă dintre cele patru, dar e o forţă cu rază lungă şi acţionează asupra oricărui lucru din univers ca o atracţie. Aceasta înseamnă că, pentru corpurile mari, forţele gravitaţionale se însumează şi pot domina toate celelalte forţe.
2. *Electromagnetismul*. Este de asemenea o forţă de rază lungă, dar mult mai puternică decât gravitaţia, şi acţionează doar asupra particulelor având sarcină electrică; sarcinile de acelaşi semn se resping, iar sarcinile de semn opus se atrag. Aceasta înseamnă că forţele electrice între corpurile mari se anulează reciproc, dar la scara atomilor şi a moleculelor ele sunt dominante. Forţele electromagnetice sunt răspunzătoare pentru toată chimia şi biologia.
3. *Forţa nucleară slabă.* Ea explică radioactivitatea şi joacă un rol esenţial în formarea elementelor în stele şi în universul timpuriu. Nu intrăm în contact cu această forţă în viaţa cotidiană.
4. *Forţa nucleară tare.* Această forţă menţine laolaltă protonii şi neutronii în interiorul nucleului atomic. Ea menţine de asemenea laolaltă protonii şi neutronii înşişi, lucru necesar pentru că ei sunt alcătuiţi din particule încă şi mai mici, cuarcii menţionaţi în capitolul 3. Forţa tare e sursa de energie a Soarelui şi a centralelor nucleare, dar, la fel ca în cazul forţei slabe, nu intrăm direct în contact cu ea în viaţa cotidiană.

Prima forţă pentru care a fost creată o versiune cuantică a fost electromagnetismul. Teoria cuantică a câmpului electromagnetic, numită electrodinamică cuantică sau QED [*quantum electrodynamics*], a fost elaborată în anii ’40 de Richard Feynman şi alţii, şi a devenit un model pentru toate teoriile cuantice de câmp. Aşa cum am mai spus, conform teoriilor clasice, forţele sunt transmise prin câmpuri. Dar, în teoriile cuantice de câmp, câmpurile de forţe sunt formate din diferite

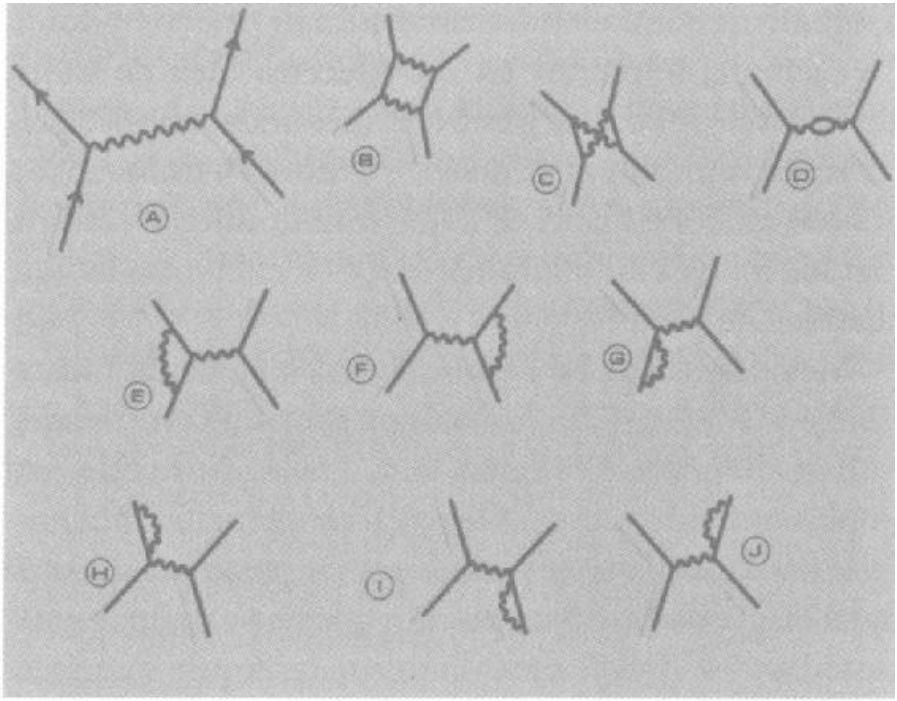
particule elementare numite bosoni, particule ce transportă forţele înainte şi înapoi între particule de materie, transmiţând forţele. Particulele de materie se numesc fermioni. Electronii şi cuarcii sunt exemple de fermioni. Fotonul sau particula de lumină este un exemplu de boson. Bosonul e cel ce transmite forţa electromagnetică. Ceea ce se întâmplă este că o particulă de materie, de pildă un electron, emite un boson, sau o particulă de forţă, după care are un recul, cam la fel cum un tun reculează după ce lansează un proiectil. Particula de forţă se va ciocni apoi cu o altă particulă de materie şi va fi absorbită, modificând mişcarea acelei particule. Conform QED, toate interacţiile dintre particulele încărcate – particule care simt forţele electromagnetice – sunt descrise în termenii schimbului de fotoni.

Predicţiile QED au fost testate şi confirmate cu mare precizie de rezultatele experimentale. Calculele matematice cerute de QED pot fi însă dificile. Problema, aşa cum vom vedea mai departe, este că atunci când adaugi la cadrul de mai sus al schimbului de particule cerinţa cuantică de a include toate istoriile prin care o interacţiune poate avea loc – de pildă, toate căile prin care pot fi schimbate particulele – matematica devine complicată. Din fericire, împreună cu introducerea ideii de istorii alternative – modul de gândire al mecanicii cuantice prezentat în capitolul precedent – Feynman a elaborat şi o metodă grafică elegantă de a ţine cont de diferitele istorii, metodă folosită azi nu numai în QED, ci în toate teoriile cuantice de câmp.

Metoda grafică a lui Feynman oferă un mod de a vizualiza fiecare termen din suma după istorii. Aceste desene, numite diagrame Feynman, sunt unele dintre cele mai importante instrumente ale fizicii moderne. În QED sumele după toate istoriile posibile pot fi reprezentate ca sume după diagrame Feynman precum cele de pe pagina următoare, care înfăţişează unele dintre modurile prin care poate avea loc împrăştierea a doi electroni prin intermediul forţei electromagnetice. În aceste diagrame, liniile drepte reprezintă electronii şi liniile ondulate reprezintă fotonii. Timpul înaintează de jos în sus, iar locurile în care se unesc liniile corespund absorbţiei sau emisiei fotonilor de către un electron. Diagrama (A) prezintă doi electroni ce se apropie unul de altul schimbând un foton şi apoi continuându-şi drumul.

Este cel mai simplu mod prin care doi electroni interacţionează electromagnetic, dar trebuie să luăm în considerare toate istoriile posibile. Prin urmare, trebuie să includem şi diagrame precum (B). Această diagramă are din nou două linii care intră (electronii care se apropie) şi două linii care ies (electronii împrăştiaţi), dar în această diagramă electronii schimbă doi fotoni înainte de a se îndepărta. Diagramele prezentate sunt doar câteva dintre numeroasele posibilităţi; de fapt, există un număr infinit de diagrame care trebuie

luate în calcul.



DIAGRAME FEYNMAN Aceste diagrame reprezintă un proces de împrăştiere a doi electroni.

Diagramele Feynman nu sunt numai o metodă de reprezentare şi de catalogare a interacţiilor care pot apărea. Diagramele Feynman sunt însoţite de reguli ce permit deducerea unei expresii matematice din liniile şi vârfurile (punctele în care se întâlnesc mai multe linii) oricărei diagrame. De pildă, probabilitatea ca electronii incidenţi cu un impuls iniţial dat să plece cu un anumit impuls final se obţine prin însumarea contribuţiilor tuturor diagramelor Feynman. E ceva de muncă, fiindcă, aşa cum am spus, numărul de diagrame este infinit. Mai mult, deşi electronilor incidenţi şi celor emergenţi li se atribuie o energie şi un impuls precise, particulele din buclele închise din interiorul diagramei pot avea orice energie şi impuls. Acest fapt este important deoarece în formarea sumei Feynman trebuie să însumăm nu numai toate diagramele, dar şi să ţinem cont de toate valorile energiei şi impulsului care intervin.

Diagramele Feynman i-au ajutat enorm pe fizicieni pentru a vizualiza şi a calcula probabilităţile proceselor descrise de QED. Ele n-au înlăturat însă un neajuns important al teoriei: când se însumează contribuţiile de la un număr infinit de istorii diferite, se obţine un

rezultat infinit. (Dacă termenii succesivi într-o sumă infinită descresc suficient de repede, suma poate fi finită, dar, din păcate, acest lucru nu se întâmplă aici.) În particular, când se adună diagramele Feynman, pare să rezulte că electronul ar avea masă şi sarcină infinite, ceea ce e absurd, deoarece îi putem măsura sarcina şi masa, iar acestea sunt finite. Pentru a ne debarasa de aceşti infiniţi a fost elaborat un procedeu numit renormare.

Procesul de renormare implică scăderea cantităţilor care rezultă că sunt infinite şi negative, astfel încât, efectuând atent calculul, suma valorilor infinite negative şi a celor infinite pozitive ce apar în teorie să se anuleze reciproc, lăsând doar un mic rest, valorile finite observate ale masei şi sarcinii. Aceste manevre pot semăna cu acel gen de greşeli pentru care pici la un examen de matematică, iar renormarea pune într-adevăr probleme matematice delicate. Una dintre consecinţe este că valorile obţinute prin această metodă pentru masa şi sarcina electronului pot fi orice numere finite. Acest fapt are avantajul că fizicienii pot alege infiniţii negativi aşa încât să obţină rezultatul corect pentru masa şi sarcina electronului, dar are dezavantajul că aceste valori nu pot fi deduse din teorie. Dar, odată ce am fixat masa şi sarcina electronului în acest mod, putem folosi QED pentru a face multe alte predicţii foarte precise, toate în excelent acord cu observaţiile, astfel că renormarea este unul din ingredientele esenţiale ale QED. Unul dintre primele succese ale QED a fost predicţia corectă a aşa-numitei deplasări Lamb, o mică modificare a energiei uneia din stările atomului de hidrogen, descoperită în 1947.

Succesul renormării în QED a încurajat încercările de a găsi teorii cuantice de câmp care să descrie şi celelalte trei forţe din natură. Împărţirea forţelor din natură în patru clase are probabil un caracter artificial şi e o consecinţă a limitelor înţelegerii noastre. Oamenii au căutat deci o teorie a tot ce există care să unifice cele patru clase într-o singură lege, compatibilă cu teoria cuantică. Aceasta ar fi căutarea Graalului în fizică.

Un indiciu că unificarea e abordarea corectă a venit din teoria forţei slabe. Teoria cuantică de câmp ce descrie de una singură forţa slabă nu poate fi renormată: ea conţine infiniţi ce nu se anulează prin scăderea unui număr finit de cantităţi cum sunt masa sau sarcina. Dar, în 1967, Abdus Salam şi Steven Weinberg, independent unul de altul, au propus o teorie în care electromagnetismul era unificat cu forţa slabă, şi au găsit că unificarea elimina problema infiniţilor. Forţa unificată poartă numele de forţă electroslabă. Teoria sa poate fi renormată, şi a prezis existenţa a trei noi particule numite W^+, W^-, şi Z^0. Dovezi privind existenţa lui Z^0 au fost descoperite la CERN, lângă Geneva, în 1973. Salam şi Weinberg au primit Premiul Nobel în 1979, dar particulele W şi Z au fost observate direct abia în 1983.

Forţa tare poate fi renormată de una singură într-o teorie numită cromodinamică cuantică [*quantum chromodynamics*] sau QCD. Conform QCD, protonul, neutronul şi multe alte particule de materie elementare se compun din cuarci, care au o proprietate remarcabilă numită de fizicieni culoare (de aici termenul de „cromodinamică”, deşi culorile cuarcilor sunt doar nişte convenţii utile, fără vreo legătură cu culorile vizibile). Cuarcii pot avea trei aşa-numite culori: roşu, verde şi albastru. În plus, fiecare cuarc are şi un partener antiparticulă, iar culorile acestora se numesc anti-roşu, anti-verde şi anti-albastru. Ideea este că doar combinaţiile fără culoare pot exista ca particule libere. Asemenea combinaţii neutre de cuarci pot fi obţinute pe două căi. O culoare şi anti-culoarea ei se anulează reciproc, astfel că un cuarc şi un anti-cuarc formează o pereche fără culoare, o particulă instabilă numită mezon. De asemenea, atunci când toate cele trei culori (sau toate cele trei anti-culori) se amestecă, rezultatul nu are culoare. Trei cuarci, câte unul de fiecare culoare, formează particule stabile numite barioni, cum sunt de pildă protonii şi neutronii (iar trei anti-cuarci formează anti-particulele barionilor). Protonii şi neutronii sunt barionii care alcătuiesc nucleul atomilor şi constituie baza întregii materii normale din univers.

QCD are de asemenea o proprietate numită libertate asimptotică, la care ne-am referit fără s-o fi numit în capitolul 3. Libertatea asimptotică înseamnă că forţele tari dintre cuarci sunt mici atunci când cuarcii stau aproape unul de altul, dar cresc dacă ei se îndepărtează, ca şi cum ar fi uniţi cu benzi elastice. Libertatea asimptotică explică de ce nu vedem în natură cuarci izolaţi şi de ce nu-i putem produce în laboratoare. Totuşi, deşi nu putem observa cuarci individuali, acceptăm modelul fiindcă reuşeşte să explice foarte bine comportamentul protonilor, neutronilor şi al altor particule de materie.

După unificarea forţei slabe cu cea electromagnetică, fizicienii au început prin anii ’70 să caute o modalitate de a cuprinde şi forţa tare în teorie. Există mai multe aşa-numite teorii ale marii unificări [*grand unified theories*] sau GUT, care unifică forţa tare cu cea slabă şi cea electromagnetică, dar în general ele prezic că protonii, materia din care suntem alcătuiţi, se dezintegrează după aproximativ 10^{32} ani. Acesta e un timp de viaţă foarte lung, dacă ţinem cont că universul are abia vârsta de 10^{10} ani. Dar, în fizica cuantică, atunci când spunem că o particulă are un timp mediu de viaţă de 10^{32} ani, nu înseamnă că majoritatea particulelor trăiesc aproximativ 10^{32} ani, unele ceva mai mult, iar altele ceva mai puţin, ci că în fiecare an particula are o probabilitate de 1 la 10^{32} să se dezintegreze. Prin urmare, dacă aveţi un rezervor conţinând 10^{32} protoni, în timp de doar câţiva ani ar trebui să vedeţi câţiva protoni dezintegrându-se. Nu e prea greu să

construieşti o asemenea cisternă uriaşă, deoarece 10^{32} protoni sunt conţinuţi în doar o mie de tone de apă. Oamenii de ştiinţă au făcut asemenea experimente. S-a dovedit că nu e deloc uşor să detectezi dezintegrările şi să le deosebeşti de alte evenimente generate de razele cosmice care ne bombardează continuu din cosmos. Pentru a minimiza fondul, experimentele sunt efectuate la mare adâncime, în locuri cum e mina Kamioka, la 1000 de metri sub un munte din Japonia, care e oarecum protejată de razele cosmice. Ca rezultat al observaţiilor din 2009, cercetătorii au ajuns la concluzia că, dacă cumva protonii se dezintegrează, atunci timpul de viaţă al protonilor este mai mare de 10^{34} ani, o veste proastă pentru teoriile marii unificări.

Deoarece nici dovezile experimentale anterioare nu veniseră în sprijinul teoriilor marii unificări, majoritatea fizicienilor au adoptat o teorie ad-hoc numită model standard, care cuprinde teoria unificată a forţelor electroslabe şi QCD ca teorie a forţelor tari. În modelul standard însă forţa electroslabă şi cea tare acţionează separat şi nu sunt cu adevărat unificate. Modelul standard este unul de succes şi concordă cu toate observaţiile actuale, dar e în fond nesatisfacător fiindcă, în afară de faptul că nu unifică forţa tare cu cea electroslabă, nu include gravitaţia.

Chiar dacă s-a dovedit că e greu de contopit forţa tare cu cea electroslabă, aceste dificultăţi nu sunt nimic în comparaţie cu problema contopirii gravitaţiei cu celelalte trei forţe, sau măcar cu crearea unei teorii cuantice de sine stătătoare a gravitaţiei. Motivul pentru care o teorie cuantică a gravitaţiei e atât de dificil de creat se leagă de principiul de incertitudine al lui Heisenberg, despre care am vorbit în capitolul 4. Deşi nu e evident, din acel principiu rezultă că valoarea unui câmp şi viteza cu care el se modifică joacă acelaşi rol ca şi poziţia şi impulsul unei particule. Altfel spus, cu cât una din ele e mai precis determinată, cu atât mai puţin precis poate fi determinată cealaltă. O consecinţă importantă a acestui fapt este că nu poate exista spaţiu gol. Aceasta pentru că spaţiul gol ar însemna că atât valoarea câmpului, cât şi viteza cu care el variază ar fi exact zero. (Dacă viteza de variaţie n-ar fi zero, spaţiul n-ar mai rămâne gol.) Deoarece principiul de incertitudine nu permite să avem valori exacte atât pentru câmp, cât şi pentru viteza lui de variaţie, spaţiul nu e niciodată gol. El poate avea o stare de energie minimă, numită vid, dar acea stare e supusă la ceea ce numim fluctuaţii cuantice sau fluctuaţii ale vidului – particule şi câmpuri oscilând între existenţă şi non-existenţă.

Ne putem închipui fluctuaţiile vidului ca nişte perechi de particule ce apar împreună la un moment dat, se îndepărtează una de alta, apoi se reîntâlnesc şi se anihilează reciproc. În termenii diagramelor Feynman, ele corespund unor bucle închise. Aceste particule se numesc particule virtuale. Spre deosebire de particulele reale,

particulele virtuale nu pot fi observate direct cu un detector de particule. Totuşi, efectele lor indirecte, cum sunt micile modificări ale energiilor orbitelor electronice, pot fi măsurate, iar ele corespund cu mare precizie predicţiilor teoriei. Problema este că particulele virtuale au energie şi, deoarece există un număr infinit de perechi virtuale, ele ar trebui să aibă o cantitate infinită de energie. Conform teoriei relativităţii generale, aceasta ar însemna ca universul să fie curbat până la o dimensiune infinit de mică, ceea ce evident nu se întâmplă!

Această problemă a infiniţilor seamănă cu cea care apare în teoriile forţelor tare, slabă şi electromagnetică, cu deosebirea că în acele cazuri renormarea înlătură infiniţii. Dar buclele închise din diagramele Feynman pentru gravitaţie produc infiniţi care nu pot fi absorbiţi prin renormare, fiindcă în relativitatea generală nu există suficienţi parametri renormabili (ca valorile masei şi sarcinii) pentru a elimina toţi infiniţii cuantici din teorie. Am rămas deci cu o teorie a gravitaţiei care prezice că anumite mărimi precum curbura spaţiului-timp sunt infinite, ceea ce nu poate conduce la un univers locuibil. Asta înseamnă că singura posibilitate de a obţine o teorie raţională ar fi ca toţi infiniţii să se anuleze cumva, fără a recurge la renormare.

În 1976 s-a găsit o soluţie posibilă la această problemă. Ea se numeşte supergravitaţie. Prefixul „super” nu a fost adăugat pentru că fizicienii s-au gândit că ar fi „super” ca această teorie cuantică a gravitaţiei să funcţioneze. „Super” desemnează o formă de simetrie pe care o posedă teoria, numită supersimetrie.

În fizică se spune că un sistem are o simetrie dacă proprietăţile lui rămân neschimbate la anumite transformări precum rotaţia în spaţiu sau reflexia în oglindă. De exemplu, dacă învârtiţi un covrig, el arată exact la fel. Supersimetria este un tip mai subtil de simetrie, care nu poate fi asociată cu transformările spaţiului obişnuit. Una dintre consecinţele importante ale supersimetriei este că particulele de forţă şi particulele de materie, şi prin urmare forţa şi materia, sunt două faţete ale aceluiaşi lucru. Asta înseamnă că fiecare particulă de materie, de pildă un cuarc, trebuie să aibă drept partener o particulă de forţă, iar fiecare particulă de forţă, de pildă un foton, trebuie să aibă drept partener o particulă de materie. În felul acesta s-ar putea rezolva problema infiniţilor, deoarece se dovedeşte că infiniţii din buclele închise ale particulelor de forţă sunt pozitivi, în timp ce infiniţii din buclele închise ale particulelor de materie sunt negativi, astfel încât infiniţii din teorie provenind de la particulele de forţă şi de la partenerii lor de materie tind să se anuleze reciproc. Din păcate, calculele necesare pentru a vedea dacă în supergravitaţie rămân infiniţi care nu se anulează erau atât de laborioase şi dificile şi erau atât de expuse erorilor, încât nimeni nu s-a încumetat să le efectueze. Majoritatea fizicienilor credeau însă că supergravitaţia era probabil

răspunsul corect la problema unificării gravitaţiei cu celelalte forţe.

Vă puteţi închipui că validitatea supersimetriei e simplu de verificat – n-ai decât să examinezi proprietăţile particulelor şi să vezi dacă apar în perechi. Nicio particulă partener n-a fost observată, însă diferite calcule efectuate de fizicieni arată că partenerii particulelor pe care le observăm ar trebui să aibă mase de o mie de ori mai mari decât un proton, dacă nu chiar mai mult. Asemenea particule sunt prea grele pentru a apărea în experimentele efectuate până acum, dar există speranţa ca ele să fie în cele din urmă create la acceleratorul Large Hadron Collider, de lângă Geneva.

Ideea de supersimetrie a condus la supergravitaţie, dar noţiunea apăruse deja cu ani în urmă la teoreticienii care studiau nou creata teorie a corzilor [*string theory*]. Conform teoriei corzilor, particulele nu sunt puncte, ci structuri aflate în vibraţie, care au lungime, dar nu au lăţime sau înălţime – ca nişte corzi de vioară infinit de subţiri. Teoriile corzilor conduc şi ele la infiniţi, dar se crede că, în versiunea lor corectă, toţi infiniţii se vor anula. Teoriile corzilor mai au o trăsătură stranie: ele sunt coerente numai dacă spaţiul-timp are zece dimensiuni, în loc de cele patru obişnuite. Zece dimensiuni pot părea incitante, dar ele vă pot crea grave probleme dacă aţi uitat cumva unde v-aţi parcat maşina. Dacă ele sunt prezente, de ce nu observăm aceste dimensiuni suplimentare? Conform teoriei corzilor, ele sunt curbate într-un spaţiu minuscul. Pentru a vă face o imagine, închipuiţi-vă o suprafaţă plană bidimensională. O numim bidimensională deoarece aveţi nevoie de două numere (de exemplu, coordonatele pe verticală şi pe orizontală) pentru a localiza orice punct de pe ea. Alt spaţiu bidimensional e suprafaţa unui pai. Pentru a localiza un punct în acest spaţiu, trebuie să ştiţi unde se află punctul pe lungimea paiului şi în dimensiunea lui circulară. Dar dacă paiul e foarte subţire, într-o foarte bună aproximaţie, va fi suficientă doar coordonata de pe lungimea paiului şi puteţi ignora dimensiunea circulară. Iar dacă paiul ar avea un diametru de o milionime de milionime de milionime de milionime de milionime de centimetru, n-aţi observa deloc dimensiunea circulară. Aceasta e imaginea pe care şi-o fac teoreticienii corzilor despre dimensiunile suplimentare – ele sunt puternic curbate sau încolăcite, la o scară atât de mică, încât nu le vedem. În teoria corzilor, dimensiunile suplimentare sunt încolăcite în ceea ce se numeşte spaţiul intern, spre a fi deosebit de spaţiul tridimensional pe care îl cunoaştem din viaţa de zi cu zi. După cum vom vedea, aceste stări interne nu sunt doar dimensiuni ascunse, ci au o importantă semnificaţie fizică.

În plus faţă de problema dimensiunilor, teoria corzilor suferă şi de un alt neajuns: se pare că există cel puţin cinci teorii diferite, şi milioane de moduri în care dimensiunile suplimentare pot fi

încolăcite, ceea ce devine stânjenitor pentru aceia care susţin că teoria corzilor e *unica* teorie a tot ce există. Apoi, prin 1994, fizicienii au început să descopere dualităţi – diferitele teorii ale corzilor şi diferitele moduri de a încolăci dimensiunile suplimentare sunt doar descrieri diferite ale aceloraşi fenomene în patru dimensiuni. Mai mult, ei au găsit că supergravitaţia e de asemenea legată în felul acesta de celelalte teorii. Teoreticienii corzilor sunt acum convinşi că cele cinci teorii ale corzilor şi supergravitaţia sunt doar aproximaţii diferite ale unei teorii mai profunde, fiecare fiind valabilă în situaţii diferite.

Această teorie fundamentală se numeşte, după cum am mai menţionat, teoria M. Nimeni nu pare să ştie ce înseamnă „M", dar poate veni de la *„master"* [stăpân], „miracol" sau „mister". Sau de la toate trei. Fizicienii încearcă să descifreze natura teoriei M, dar poate că e imposibil. Poate că speranţa tradiţională a fizicienilor de a avea o singură teorie a naturii e iluzorie, şi nu există o formulare unică. Poate că pentru a descrie universul trebuie să folosim teorii diferite în situaţii diferite. Fiecare teorie poate avea propria ei versiune a realităţii, dar, conform realismului dependent de model, lucrul acesta e acceptabil atâta vreme cât teoriile coincid în predicţiile lor atunci când se suprapun, adică atunci când pot fi aplicate două simultan.

Indiferent dacă teoria M există ca o formulare unică sau doar ca o reţea, cunoaştem unele dintre proprietăţile ei. În primul rând, teoria M are unsprezece dimensiuni spaţio-temporale, nu zece. Teoreticienii corzilor bănuiau de mult că predicţiile în zece dimensiuni trebuie ajustate, iar studii recente au arătat că o dimensiune fusese într-adevăr omisă. De asemenea, teoria M poate conţine nu doar corzi vibrante, ci şi particule punctiforme, membrane bidimensionale, picături tridimensionale, precum şi alte obiecte mai greu de imaginat şi care ocupă încă mai multe dimensiuni ale spaţiului, până la nouă. Aceste obiecte se numesc p-brane (unde p ia valori de la zero la nouă).

Ce putem spune despre imensul număr de moduri în care se pot încolăci dimensiunile minuscule? În teoria M, aceste spaţii suplimentare nu pot fi încolăcite oricum. Matematica teoriei impune restricţii asupra modului în care sunt încolăcite dimensiunile spaţiului intern. Forma exactă a spaţiului intern determină atât valorile constantelor fizice, cum e sarcina electronului, cât şi natura interacţiilor dintre particulele elementare. Cu alte cuvinte, ea determină legile aparente ale naturii. Spunem „aparente", pentru că acestea sunt legile pe care le observăm în universul nostru – legile celor patru forţe şi parametrii precum masa şi sarcina caracteristice particulelor elementare. Dar legile cu adevărat fundamentale sunt cele ale teoriei M.

Legile teoriei M permit deci existenţa unor *universuri diferite*, cu legi

aparente diferite, în funcţie de modul în care e încolăcit spaţiul intern. Teoria M are soluţii care permit existenţa a numeroase spaţii interne diferite, poate chiar 10^{500}, ceea ce înseamnă că ea admite 10^{500} universuri diferite, fiecare cu legile lui. Pentru a vă face o idee asupra acestui număr, gândiţi-vă că dacă ar exista o fiinţă care să poată analiza legile prezise pentru fiecare dintre aceste universuri în doar o milisecundă, şi ar fi început la big bang, până în prezent ar fi putut analiza doar 10^{20} dintre ele. Iar asta fără pauze de cafea…

Cu secole în urmă Newton a arătat că ecuaţiile matematice pot oferi descrieri uimitor de precise ale modului în care interacţionează obiectele, atât pe Pământ, cât şi în cer. Oamenii de ştiinţă au ajuns să creadă că viitorul întregului univers ar putea fi dezvăluit dacă am cunoaşte teoria corectă şi dacă am avea suficientă putere de calcul. Au apărut apoi incertitudinea cuantică, spaţiile curbe, cuarcii, corzile şi dimensiunile suplimentare, iar acţiunea lor conjugată a avut ca rezultat net 10^{500} universuri, fiecare cu legi diferite, iar unul singur corespunzând universului pe care îl cunoaştem. Speranţa iniţială a fizicienilor de a crea o unică teorie care să explice legile aparente ale universului nostru ca singura consecinţă posibilă a câtorva presupuneri simple se pare că ar trebui abandonată. Către ce ne conduce asta? Dacă teoria M admite 10^{500} seturi de legi aparente, cum de am ajuns în acest univers, cu acele legi aparente nouă? Şi ce putem spune despre celelalte lumi posibile?

6.
Selectarea universului

În tradiţia tribului boshongo din Africa Centrală, la început au fost doar întunericul, apa şi marele zeu Bumba. Într-o bună zi, pe Bumba l-au apucat durerile de stomac şi a vomitat soarele. În timp, soarele a mai evaporat din apă, lăsând în urmă uscatul. Dar pe Bumba durerile de stomac nu l-au părăsit, şi a vomitat în continuare. Aşa au apărut luna, stelele şi apoi câteva animale: leopardul, crocodilul, broasca ţestoasă, iar în cele din urmă omul. Mayaşii din Mexic şi din America Centrală vorbeau şi ei despre un timp dinainte de creaţie, când nu existau decât marea, cerul şi Creatorul. În tradiţia maya, Creatorul, nemulţumit că nu era nimeni să-l slăvească, a făurit pământul, munţii, pomii şi cele mai multe dintre animale. Dar animalele nu puteau vorbi, aşa că s-a hotărât să-i creeze pe oameni. Mai întâi i-a făcut din noroi şi pământ, dar ei vorbeau fără şir. Atunci i-a dizolvat şi a încercat din nou, de data asta făurindu-i din lemn. Aceşti oameni erau greoi la minte. A hotărât să-i distrugă, dar ei au evadat în pădure, vătămându-se pe drum, degradându-se treptat şi devenind maimuţele de azi. După acest dezastru, Creatorul a ajuns în fine la o formulă care a funcţionat, şi a făurit primii oameni din porumb alb şi galben. Astăzi noi fabricăm etanol din porumb, dar până acum n-am egalat isprava Creatorului construind şi oamenii care să-l bea.

Toate miturile Creaţiei încearcă să răspundă la întrebările pe care ni le punem în această carte: de ce există un univers şi de ce universul este aşa cum este? Capacitatea noastră de a pune asemenea întrebări a sporit constant de la vechii greci încoace, şi mai cu seamă în ultimul secol. Înarmaţi cu cunoştinţele de bază din capitolele precedente, suntem acum gata să oferim un posibil răspuns la aceste întrebări.

Încă din cele mai vechi timpuri a fost pesemne limpede că fie universul e o creaţie foarte recentă, fie oamenii există doar de un timp care e o parte mică din istoria cosmică. Aceasta deoarece omenirea a progresat atât de repede în cunoaştere şi tehnologie, încât, dacă oamenii ar fi existat de milioane de ani, ne-am fi perfecţionat cu mult mai mult.

Conform Vechiului Testament, Dumnezeu i-a creat pe Adam şi Eva

în a şasea zi a Creaţiei. Episcopul Ussher, primat al întregii Irlande între 1625 şi 1656, a plasat originea lumii încă şi mai precis, la ora nouă dimineaţa pe 27 octombrie 4004 î.Cr. Noi vedem lucrurile altfel: oamenii sunt o creaţie recentă, dar universul a apărut mult mai devreme, cu aproximativ 13,7 miliarde de ani în urmă.

De fapt, prima dovadă că universul are un început datează din anii ’20. După cum am spus în capitolul 3, a fost o vreme când majoritatea oamenilor de ştiinţă credeau într-un univers staţionar care a existat dintotdeauna. Dovezile în sens contrar au fost indirecte, bazate pe observaţiile făcute de Edwin Hubble cu telescopul de 100 de ţoli de pe Mount Wilson, lângă Pasadena, California. Analizând spectrul luminii emise de ele, Hubble a constatat că aproape toate galaxiile se îndepărtează de noi, şi, cu cât sunt mai departe, cu atât se deplasează mai repede. În 1929 el a enunţat o lege care leagă viteza de îndepărtare de distanţa faţă de noi, şi a tras concluzia că universul se află în expansiune. Dacă e adevărat, atunci universul trebuie să fi fost mai mic în trecut. De fapt, dacă extrapolăm spre trecutul îndepărtat, întreaga materie şi energie din univers trebuie să fi fost concentrată într-o regiune foarte mică, de temperatură şi densitate uriaşe, iar, dacă ne întoarcem suficient în timp, trebuie să fi existat un moment când a început totul – evenimentul pe care îl numim acum big bang.

Ideea că universul se află în expansiune e mai subtilă decât pare la prima vedere. Acesta nu înseamnă, de pildă, că universul se extinde în felul în care am putea extinde o casă dărâmând un zid şi construind o nouă baie pe locul unde altădată se afla un stejar maiestuos. Nu spaţiul în sine se *extinde*, ci distanţa dintre oricare două puncte *din* univers creşte. Această idee a apărut în anii ’30, în toiul unor dispute aprige, dar unul dintre cele mai bune moduri de a o vizualiza rămâne metafora propusă în 1931 de astronomul Arthur Eddington de la Universitatea Cambridge. Eddington îşi închipuia universul ca suprafaţa unui balon ce se umflă, iar galaxiile ca puncte pe acea suprafaţă. Imaginea arată limpede de ce galaxiile situate la distanţe mari de noi se îndepărtează mai repede decât cele apropiate. De exemplu, dacă raza balonului se dublează în fiecare oră, atunci distanţa dintre oricare două galaxii se dublează în fiecare oră. Dacă la un moment dat distanţa dintre două galaxii este de 1 cm, peste o oră ea va fi de 2 cm, iar ele vor părea că se deplasează una faţă de alta cu viteza de 1 cm/oră. Dacă însă distanţa iniţială dintre ele este de 2 cm, după o oră ea va deveni de 4 cm, şi va părea că galaxiile se îndepărtează una de alta cu 2 cm/oră. Exact asta a găsit Hubble: cu cât o galaxie se află mai departe, cu atât se îndepărtează mai repede de noi.

E important să înţelegem că expansiunea spaţiului nu afectează dimensiunea obiectelor materiale cum sunt galaxiile, stelele, merele,

atomii sau alte obiecte menţinute laolaltă printr-un tip oarecare de forţă. De pildă, dacă trasăm un cerc în jurul unui roi de galaxii pe balon, cercul nu va creşte atunci când balonul se umflă. Datorită faptului că galaxiile sunt legate prin forţe gravitaţionale, cercul şi galaxiile aflate în interiorul lui îşi vor păstra dimensiunea şi configuraţia când balonul se expandează. Acest lucru e important deoarece putem detecta expansiunea doar dacă instrumentele noastre de măsură au dimensiuni fixe. Dacă totul s-ar expanda, atunci şi noi, împreună cu riglele noastre, cu laboratoarele etc., ne-am expanda proporţional şi n-am mai putea observa vreo diferenţă.

Faptul că universul se extinde l-a şocat pe Einstein. Dar posibilitatea ca galaxiile să se îndepărteze unele de altele fusese propusă cu câţiva ani înaintea articolului lui Hubble pe baze teoretice decurgând din chiar ecuaţiile lui Einstein. În 1922, fizicianul şi matematicianul rus Aleksandr Friedmann a studiat ce s-ar întâmpla într-un model de univers bazat pe două presupuneri care simplifică mult calculele matematice: universul apare identic indiferent în ce direcţie şi din ce punct a-i privi. Ştim că prima ipoteză a lui Friedmann nu e întru totul adevărată – din fericire, universul nu e pretutindeni uniform! Dacă ne uităm într-o direcţie putem vedea Soarele, dacă ne uităm în alta putem vedea Luna sau o colonie de lilieci vampiri în zbor. Dar universul pare să fie aproximativ acelaşi în toate direcţiile atunci când privim la o scară mult mai mare – mai mare chiar şi decât distanţa dintre galaxii. Este ca şi cum ai privi o pădure. Dacă eşti suficient de aproape, poţi vedea frunzele sau măcar copacii individuali şi spaţiile dintre ei. Dar dacă eşti la o înălţime atât de mare încât, ţinând mâna întinsă, degetul mare acoperă un kilometru pătrat de copaci, pădurea îţi va apărea ca o tentă uniformă de verde. Am spune că, la acea scară, pădurea este uniformă.

Pe baza acestor ipoteze, Friedmann a găsit o soluţie a ecuaţiilor lui Einstein în care universul se dilată exact aşa cum avea curând să descopere Hubble că se întâmplă în realitate. Universul lui Friedmann începe având dimensiune nulă şi se dilată până ce atracţia gravitaţională îl încetineşte şi în cele din urmă îl face să se prăbuşească în sine însuşi. (Mai există şi alte două alte tipuri de soluţii ale ecuaţiilor lui Einstein care satisfac de asemenea presupunerile modelului lui Friedmann, una corespunzând unui univers care continuă să se extindă la nesfârşit, deşi expansiunea e puţin încetinită, iar cealaltă corespunzând unui univers în care viteza de expansiune tinde către zero, fără să devină însă niciodată zero.) Friedmann a murit la scurt timp după ce şi-a publicat articolul, iar ideile sale au rămas în mare parte necunoscute până la descoperirea lui Hubble. Dar, în 1927, un profesor de fizică şi preot romano-catolic pe nume Georges Lemaître a propus o idee asemănătoare: dacă urmărim înapoi

în timp istoria universului, el devine tot mai mic până ajungem la evenimentul creaţiei – ceea ce numim acum big bang.

Nu tuturor le place modelul big bang. De fapt, termenul de „big bang" a fost născocit în 1949 de astrofizicianul Fred Hoyle de la Cambridge, care credea într-un univers în eternă expansiune, iar termenul se voia o descriere peiorativă. Prima observaţie directă care a venit în sprijinul ideii de big bang a apărut abia în 1965, odată cu descoperirea existenţei unui fond slab de microunde în spaţiul cosmic. Această radiaţie cosmică de fond de microunde (RCFM) este aceeaşi cu cea din cuptoarele cu microunde, însă e mult mai slabă. Puteţi observa RCFM acordându-vă televizorul pe un canal neutilizat – câteva procente din „puricii" pe care-i vedeţi pe ecran sunt produşi de ea. Radiaţia a fost descoperită din întâmplare la Laboratoarele Bell de către doi cercetători care încercau s-o elimine din antena lor de microunde. La început, au crezut că paraziţii puteau fi produşi de dejecţiile porumbeilor care se adăpostiseră în aparat, dar s-a dovedit că problema lor avea origini mult mai interesante – RCFM este radiaţia rămasă din universul timpuriu foarte fierbinte şi dens care trebuie să fi existat la puţin timp după big bang. Pe măsură ce universul s-a dilatat, el s-a răcit, iar radiaţia a devenit acea urmă slabă pe care o detectăm acum. În prezent, aceste microunde v-ar putea încălzi mâncarea doar până la -270 grade Celsius, adică doar cu 3 grade peste zero absolut, deci nu le putem folosi ca să facem popcorn.

Astronomii au găsit şi alte amprente care vin în sprijinul modelului big bang al unui univers timpuriu mic şi fierbinte. De exemplu, în cursul primelor minute, universul trebuie să fi fost mai fierbinte decât centrul unei stele tipice. În această perioadă întregul univers trebuie să se fi comportat ca un reactor nuclear de fuziune. Reacţiile trebuie să fi încetat atunci când universul a crescut şi s-a răcit suficient, dar teoria spune că în acel moment universul era compus în principal din hidrogen, la care se adăugau 23 de procente de heliu şi urme de litiu (toate elementele mai grele s-au format ulterior, în interiorul stelelor). Calculele sunt în bun acord cu cantităţile de heliu, hidrogen şi litiu observate.

Măsurătorile abundenţei de heliu şi RCFM au oferit dovezi convingătoare în favoarea modelului big bang pentru universul timpuriu, dar, deşi ne-am putea închipui că acest model e o descriere valabilă a primelor momente, e greşit să luăm big bang-ul ad litteram, adică să credem că teoria lui Einstein oferă adevărata imagine a *originii* universului. Relativitatea generală prezice existenţa unui punct în timp la care temperatura, densitatea şi curbura spaţiului sunt toate infinite, situaţie pe care matematicienii o numesc singularitate. Pentru un fizician, asta înseamnă că teoria lui Einstein nu mai e valabilă în acel punct, deci nu poate fi folosită pentru a spune cum a început

universul, ci doar cum a evoluat ulterior. Astfel, deşi putem folosi ecuaţiile relativităţii generale şi observaţiile noastre astronomice pentru a cunoaşte universul la o vârstă fragedă, nu e corect să aplicăm modelul big bang chiar pentru început.

Vom ajunge în curând la tema originii universului, dar mai întâi câteva cuvinte despre prima fază a expansiunii. Fizicienii o numesc inflaţie. Dacă nu cumva trăiţi în Zimbabwe, unde rata inflaţiei a atins recent 200.000.000 la sută, termenul poate să nu vi se pară atât de exploziv. Dar, chiar şi după cele mai moderate estimări, în timpul inflaţiei cosmologice universul s-a dilatat cu un factor de 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 în 0,00000000000000000000000000000000001 secunde. A fost ca şi cum o monedă cu un diametru un centimetru s-ar fi dilatat brusc, ajungând de zece milioane de ori mai mare decât Calea-Lactee. Fenomenul ar putea părea că încalcă relativitatea, care stipulează că nimic nu se poate deplasa mai repede decât lumina, dar această limită de viteză nu se aplică spaţiului însuşi.

Ideea că un asemenea episod de inflaţie ar fi putut avea loc a fost propusă în 1980, pe baza unor consideraţii care depăşesc cadrul teoriei relativităţii generale a lui Einstein şi ţin seama de aspecte ale teoriei cuantice. Deoarece nu avem o teorie cuantică completă a gravitaţiei, fizicienii nu cunosc deocamdată cu certitudine amănuntele inflaţiei, nu ştiu exact cum s-a petrecut. Conform teoriei, expansiunea provocată de inflaţie n-a fost *perfect* uniformă, aşa cum prezicea modelul big bang tradiţional. Aceste neregularităţi puteau genera minuscule variaţii de temperatură ale RCFM în diferite direcţii. Variaţiile sunt mult prea mici ca să fi fost observate în 1960, dar au fost descoperite mai întâi în 1992 de satelitul COBE lansat de NASA, iar apoi au fost măsurate de urmaşul său, satelitul WMAP, lansat în 2001. Aceste observaţii ne încredinţează că inflaţia a avut într-adevăr loc.

Deşi micile variaţii ale RCFM sunt dovezi în favoarea inflaţiei, un motiv pentru care inflaţia e un concept important este aproape perfecta uniformitate a temperaturii RCFM. Dacă faceţi aşa încât o parte a unui obiect să fie mai caldă decât restul şi apoi aşteptaţi, partea caldă se va răci, iar restul se va încălzi, până când temperatura obiectului va fi uniformă. În mod asemănător, ne-am aştepta ca universul să ajungă în cele din urmă la o temperatură uniformă. Dar acest proces ia timp, iar, dacă inflaţia n-ar fi avut loc atunci, n-ar fi fost suficient timp în istoria universului pentru a se egaliza temperatura unor regiuni atât de îndepărtate, presupunând că viteza transferului de căldură e limitată de viteza luminii. O perioadă de expansiune foarte rapidă (mult mai rapidă decât lumina) rezolvă problema, deoarece a existat suficient timp pentru ca egalizarea să

aibă loc în minusculul univers preinflaţionar.

Inflaţia explică *bang*-ul [explozia] din *big bang* [marea explozie], cel puţin în sensul că expansiunea pe care o reprezintă a fost mult mai puternică decât expansiunea prezisă de teoria big bang tradiţională bazată pe relativitatea generală, pentru intervalul de timp în care a avut loc inflaţia. Problema este că, pentru ca modelele noastre teoretice să funcţioneze, starea iniţială a universului trebuie să fi fost stabilită într-un mod cu totul aparte şi extrem de improbabil. Astfel, teoria tradiţională a inflaţiei rezolvă o serie de probleme, dar creează altele – nevoia unei stări iniţiale cu totul aparte. Această problemă a momentului zero e eliminată în teoria creaţiei universului pe care o vom prezenta.

Deoarece nu putem vorbi despre creaţie folosind teoria relativităţii generale a lui Einstein, dacă vrem să descriem originea universului, va trebui să înlocuim relativitatea generală cu o teorie mai completă. Ar fi fost de aşteptat să avem nevoie de o teorie mai completă chiar dacă teoria relativităţii generale ar fi fost aplicabilă la acel moment, odată ce relativitatea generală nu ţine cont de structura materiei la scară foarte mică, unde guvernează legile teoriei cuantice. Am menţionat în capitolul 4 că practic teoria cuantică nu are prea mare relevanţă în studiul structurii universului la scară mare, deoarece teoria cuantică se aplică în descrierea naturii la scară microscopică. Dar, dacă ne întoarcem suficient de mult în timp, universul era atât de mic, încât avea o dimensiune de ordinul scării Planck – o miliardime de bilionime de bilionime de centimetru –, scara la care teoria cuantică trebuie luată în considerare. Astfel, chiar dacă nu avem încă o teorie cuantică a gravitaţiei, ştim totuşi că originea universului a fost un eveniment cuantic. Prin urmare, la fel cum am combinat teoria cuantică cu relativitatea generală – cel puţin în mod provizoriu – pentru a deduce teoria inflaţiei, dacă vrem să ne întoarcem şi mai mult în timp şi să înţelegem originea universului, trebuie să combinăm ceea ce ştim despre relativitatea generală cu teoria cuantică.

Pentru a vedea cum putem face acest lucru, trebuie să înţelegem principiul conform căruia gravitaţia deformează spaţiul şi timpul. Deformarea spaţiului e mai uşor de vizualizat decât deformarea timpului. Imaginaţi-vă universul ca suprafaţa unei mese plane de biliard. Masa de biliard e un spaţiu plat, cel puţin în două dimensiuni. Dacă rostogoliţi o bilă pe masă, ea se va deplasa în linie dreaptă. Dar dacă pe alocuri masa se deformează, atunci traiectoria bilei devine curbă.

Este uşor de văzut cum e deformată masa de biliard în acest exemplu, deoarece e curbată într-o a treia dimensiune, exterioară, pe care o putem vedea. Din moment ce nu putem ieşi în afara propriului

nostru spaţiu-timp pentru a-i vedea deformarea, deformarea spaţiului-timp din universul nostru e mai greu de imaginat. Curbura însă poate fi detectată chiar dacă nu putem ieşi pentru a o vedea din perspectiva unui spaţiu cu mai multe dimensiuni. Ea poate fi detectată chiar dinăuntrul spaţiului. Închipuiţi-vă o micro-furnică prizonieră pe suprafaţa mesei. Chiar şi fără să aibă posibilitatea de a părăsi masa, furnica poate detecta deformarea dacă măsoară cu atenţie distantele. De exemplu, perimetrul unui cerc într-un spaţiu plat este puţin mai mare decât de trei ori diametrul lui (factorul exact este □). Dar, dacă furnica ar lua în considerare un cerc care înconjoară groapa din masă, ea ar găsi că diametrul e mai mare decât s-ar aştepta, mai mare decât o treime din perimetru. De fapt, dacă groapa ar fi suficient de adâncă, furnica ar descoperi că perimetrul cercului e *mai mic* decât diametrul lui. Acelaşi lucru e valabil pentru deformarea universului nostru – ea alungeşte sau comprimă distanţa dintre punctele spaţiului, transformându-i geometria sau forma într-un mod măsurabil chiar din interiorul universului. Deformarea timpului alungeşte sau comprimă intervalele de timp într-un mod asemănător.

Înarmaţi cu aceste idei, să ne întoarcem la problema începuturilor universului. Putem vorbi separat despre spaţiu şi timp, aşa cum am făcut-o mai sus, în situaţii în care avem de-a face cu viteze mici şi gravitaţie slabă. În general însă, timpul şi spaţiul pot fi intercorelate, astfel încât alungirea şi comprimarea lor implică de asemenea un oarecare amestec. Acest amestec e important în universul timpuriu şi e esenţial pentru a înţelege începutul timpului.

Problema începutului timpului seamănă oarecum cu problema marginilor lumii. Pe vremea când oamenii credeau că Pământul e plat, ei trebuie să se fi mirat cum de marea nu se varsă pe la margini. Acest lucru a fost testat experimental: poţi merge în jurul lumii fără să cazi. Întrebarea ce se întâmplă la marginea lumii şi-a găsit răspuns atunci când oamenii au înţeles că Pământul nu e o suprafaţă plată, ci una curbă. Timpul însă părea ca o şină de cale ferată. Dacă avea un început, atunci trebuie să fi fost cineva (i.e., Dumnezeu) care să pună trenurile în mişcare. Chiar dacă teoria relativităţii generale a lui Einstein a unificat spaţiul şi timpul în spaţiu-timp şi a introdus un oarecare amestec al spaţiului cu timpul, timpul rămânea totuşi diferit de spaţiu şi fie avea un început şi un sfârşit, fie continua la nesfârşit. Dar, dacă adăugăm efectele teoriei cuantice la teoria relativităţii, în cazuri extreme deformarea poate fi atât de mare, încât timpul se comportă ca o altă dimensiune a spaţiului.

La început – pe când universul era suficient de mic pentru a fi guvernat atât de teoria relativităţii generale, cât şi de teoria cuantică – au existat într-adevăr patru dimensiuni spaţiale şi niciuna temporală. Prin urmare, atunci când vorbim de „începutul” universului ajungem

la ideea subtilă că, privind înapoi către universul primordial, timpul aşa cum îl cunoaştem nu exista! Trebuie să acceptăm că ideile noastre obişnuite despre spaţiu şi timp nu se aplică universului primordial. Aceasta depăşeşte experienţa noastră, dar nu şi imaginaţia sau matematica noastră. Dacă în universul primordial toate cele patru dimensiuni se comportă ca spaţiu, ce putem spune despre începutul timpului?

Înţelegerea faptului că timpul se poate comporta ca o altă direcţie a spaţiului înseamnă că putem scăpa de problema începutului timpului într-un mod asemănător felului în care ne-am debarasat de ideea marginilor lumii. Să presupunem că începutul universului a fost ca Polul Sud al Pământului, gradele de latitudine jucând rolul timpului. Pe măsură ce ne îndreptăm spre nord, cercurile de latitudine constantă, reprezentând dimensiunea universului, se vor dilata. Universul ar începe ca un punct la Polul Sud, dar Polul Sud e un punct la fel ca oricare altul. Să te întrebi ce a fost înainte de începutul universului ar deveni o întrebare fără sens, fiindcă nu există nimic la sud de Polul Sud. În această descriere, spaţiul-timp nu are margini – aceleaşi legi ale naturii acţionează la Polul Sud la fel ca în alte locuri. În mod asemănător, atunci când combinăm teoria relativităţii generale cu teoria cuantică, întrebarea ce a fost înainte de începutul universului îşi pierde orice sens. Ideea că istoriile trebuie să fie suprafeţe închise fără frontiere se numeşte „condiţia fără frontiere”.

De-a lungul secolelor mulţi oameni, între care şi Aristotel, credeau că universul trebuie să fi existat dintotdeauna, pentru a evita problema felului în care a apărut. Alţii credeau că universul a avut un început, şi au folosit aceasta ca argument în favoarea existenţei lui Dumnezeu. Înţelegerea faptului că timpul se comportă ca spaţiu ne oferă o nouă posibilitate. Ea înlătură vechiul refuz al ideii de început al universului, dar ne spune de asemenea că începutul universului a fost guvernat de legi ale naturii, şi nu mai e nevoie de vreun zeu care să-l fi pus în mişcare.

Dacă originea universului a fost un eveniment cuantic, el ar trebui să fie descris corect de sumele după istorii ale lui Feynman. A aplica teoria cuantică la întregul univers – unde observatorul face parte din sistemul observat – e însă complicat. În capitolul 4 am văzut că particulele de materie lansate către un paravan cu două fante pot prezenta figuri de interferenţă, la fel cum se întâmplă cu undele de pe suprafaţa apei. Feynman a arătat că aceasta se întâmplă pentru că o particulă nu are o istorie unică: atunci când se deplasează dintr-un punct iniţial A într-un punct final B, ea nu urmează o traiectorie precisă, ci urmează simultan toate traiectoriile posibile care leagă cele două puncte. Din această perspectivă, interferenţa nu e surprinzătoare, fiindcă, de exemplu, particula poate să treacă simultan prin ambele

fante şi să interfereze cu ea însăşi. Aplicată la mişcarea unei particule, metoda lui Feynman ne spune că, pentru a calcula probabilitatea oricărui punct final, trebuie să luăm în considerare toate istoriile posibile pe care particula le poate urma din punctul iniţial până în punctul final. Putem de asemenea folosi metodele lui Feynman la calculul probabilităţilor cuantice pentru observaţii asupra universului. Dacă se aplică universului ca întreg, nu există un punct A, deci vom aduna toate istoriile care satisfac condiţia fără frontiere şi sfârşesc în universul pe care îl observăm azi.

Din această perspectivă, universul a apărut spontan, începând în toate modurile posibile. Majoritatea acestora corespund altor universuri. Deşi unele dintre acele universuri seamănă cu al nostru, cele mai multe sunt foarte diferite. Ele nu diferă doar prin detalii – a murit sau nu tânăr Elvis, napii se mănâncă sau nu la desert –, ci chiar prin legile aparente ale naturii. De fapt, există multe universuri cu multe seturi diferite de legi ale fizicii. Unii învăluie în mister această idee, cunoscută şi sub numele de multivers, dar nu e vorba decât de diferite expresii ale sumei lui Feynman după istorii.

Pentru a ne reprezenta acest lucru, să modificăm analogia cu balonul lui Eddington şi să ne închipuim universul care se extinde ca suprafaţa unei bule. Imaginea noastră privind creaţia cuantică spontană a universului seamănă puţin cu formarea bulelor de vapori în apa care fierbe. Multe bule minuscule apar, iar apoi dispar. Acestea reprezintă mini-universuri care se extind, dar, pe când au încă dimensiuni microscopice, colapsează din nou. Ele reprezintă posibile universuri alternative, dar nu sunt de mare interes, fiindcă nu durează suficient cât să formeze galaxii şi stele, ca să nu mai vorbim despre viaţă inteligentă. Câteva dintre aceste mici bule vor creşte totuşi suficient pentru a nu mai colapsa. Ele vor continua să se extindă cu o viteză tot mai mare şi vor forma bulele de vapori pe care le putem vedea. Acestea corespund universurilor care încep să se extindă cu o viteză tot mai mare – cu alte cuvinte, universurilor în stare de inflaţie.

După cum am spus, expansiunea provocată de inflaţie nu a fost perfect uniformă. În suma după istorii există doar o singură istorie perfect uniformă şi regulată, iar ea va avea cea mai mare probabilitate, dar multe alte istorii care sunt uşor neregulate vor avea probabilităţi aproape la fel de mari. De aceea inflaţia prezice că universul timpuriu trebuie să fi fost uşor neuniform, corespunzând micilor variaţii de temperatură observate în radiaţia cosmică de fond. Neregularităţile din universul timpuriu au fost şansa noastră. De ce? Omogenitatea e bună dacă nu vreţi să se separe smântână din lapte, dar un univers omogen este unul plictisitor. Neregularităţile în universul timpuriu sunt importante deoarece, dacă unele regiuni au densităţi puţin mai mari decât altele, atracţia gravitaţională a

densităţii suplimentare va încetini expansiunea acelei regiuni în comparaţie cu regiunile învecinate. Cum forţa gravitaţională adună cu încetul materia laolaltă, în cele din urmă ea poate declanşa colapsarea materiei pentru a se forma galaxii şi stele, care pot conduce la apariţia planetelor şi, cel puţin într-o împrejurare, la apariţia oamenilor. Aşa încât harta de microunde a cerului este planul întregii structuri a universului. Suntem produsul fluctuaţiilor cuantice din universul foarte timpuriu. Dacă sunteţi religioşi, puteţi spune că Dumnezeu dă într-adevăr cu zarul.

Această idee a condus la o perspectivă asupra universului profund diferită de concepţia tradiţională, obligându-ne să privim altfel istoria acestuia. Pentru a face predicţii în cosmologie, trebuie să calculăm probabilităţile diferitelor stări ale întregului univers din prezent. De regulă, în fizică presupunem o stare iniţială pentru un sistem şi studiem evoluţia lui în timp, folosind ecuaţiile matematice relevante. Dată fiind starea sistemului la un moment dat, încercăm să calculăm probabilitatea ca sistemul să se afle într-o stare diferită la un moment ulterior. Presupunerea obişnuită în cosmologie este aceea că universul are o istorie unică. Putem folosi legile fizicii pentru a calcula evoluţia acestei istorii în timp. Numim aceasta abordarea „de jos în sus" a cosmologiei. Dar, deoarece trebuie să ţinem cont de natura cuantică a universului aşa cum este exprimată de suma lui Feynman după istorii, amplitudinea de probabilitate ca universul să se afle acum într-o anumită stare se obţine însumând contribuţiile tuturor istoriilor care satisfac condiţia fără frontiere şi sfârşesc în acea stare. Cu alte cuvinte, în cosmologie nu trebuie să urmărim istoria universului de jos în sus, deoarece aceasta presupune că există o singură istorie, cu un punct iniţial şi o evoluţie bine definite. Trebuie în schimb să urmărim istoriile de sus în jos, pornind de la prezent spre trecut. Unele istorii vor fi mai probabile decât altele, iar suma va fi în mod firesc dominată de o singură istorie care începe cu creaţia universului şi culminează cu starea considerată. Vor exista însă istorii diferite pentru diferite stări posibile ale universului în prezent. Aceasta conduce la o perspectivă complet diferită asupra cosmologiei şi asupra raportului dintre cauză şi efect. Istoriile care contribuie la suma lui Feynman nu au o existenţă independentă, ci depind de ce anume se măsoară. Noi creăm istoria prin observaţiile noastre, iar nu istoria ne creează pe noi.

Ideea că universul nu are o singură istorie independentă de observator poate părea că intră în contradicţie cu unele fapte pe care le cunoaştem. Ar putea exista o istorie în care Luna să fie făcută din brânză de Roquefort. Noi am observat însă că Luna nu e făcută din brânză, ceea ce e o veste proastă pentru şoareci. Aşadar, istoriile în care Luna e făcută din brânză nu contribuie la starea actuală a universului nostru, deşi ele ar putea contribui la starea altor

universuri. Ideea poate părea că ţine de SF, dar lucrurile nu stau aşa.

O consecinţă importantă a abordării de sus în jos este aceea că legile aparente ale naturii depind de istoria universului. Mulţi oameni de ştiinţă cred că există o singură teorie care explică acele legi, precum şi constantele fizice din natură, de pildă, masa electronului sau numărul de dimensiuni ale spaţiului-timp. Dar cosmologia de sus în jos stipulează faptul că legile aparente ale naturii sunt diferite pentru istorii diferite.

Să luăm în considerare dimensiunile aparente ale universului. Conform teoriei M, spaţiul-timp are zece dimensiuni spaţiale şi una temporală. Ideea este că şapte dimensiuni spaţiale sunt încolăcite atât de strâns, încât nu le putem observa, dându-ne cu iluzia că nu există decât cele trei dimensiuni extinse cu care suntem obişnuiţi. Una dintre întrebările rămase fără răspuns în teoria M este: de ce în universul nostru nu sunt mai multe dimensiuni extinse şi de ce există dimensiuni încolăcite?

Mulţi cred că există un mecanism care face ca toate dimensiunile spaţiale, cu excepţia celor trei, să se încolăcească spontan. Sau poate că toate dimensiunile au început prin a fi mici, dar, din motive de neînţeles, trei dimensiuni spaţiale s-au extins, iar celelalte nu. Se pare totuşi că nu există motive dinamice pentru ca universul să apară cvadridimenional. Pe de altă parte, cosmologia de sus în jos prezice că numărul dimensiunilor spaţiale nu e fixat de niciun principiu al fizicii. Există câte o amplitudine de probabilitate cuantică pentru fiecare număr de dimensiuni spaţiale extinse, de la zero la zece. Sumele Faynman le permit pe toate acestea, pentru fiecare istorie posibilă a universului, dar observaţia că universul nostru are trei dimensiuni spaţiale extinse selectează subclasa istoriilor care au proprietatea de a fi observate. Cu alte cuvinte, probabilitatea cuantică pentru ca universul să aibă mai mult sau mai puţin de trei dimensiuni spaţiale extinse este irelevantă, deoarece am determinat deja că ne aflăm într-un univers cu trei dimensiuni spaţiale extinse. Deci atâta timp cât amplitudinea de probabilitate pentru trei dimensiuni spaţiale extinse nu este exact zero, nu contează cât de mică este în comparaţie cu amplitudinea de probabilitate pentru alte numere de dimensiuni. Ar fi ca şi cum ne-am întreba care e amplitudinea de probabilitate ca actualul papă să fie chinez. Ştim că este german, deşi probabilitatea de a fi chinez este mai mare, deoarece există mai mulţi chinezi decât germani. În mod asemănător, ştim că universul prezintă trei dimensiuni spaţiale extinse, iar astfel, chiar dacă alte numere de dimensiuni spaţiale extinse ar putea avea o amplitudine de probabilitate mai mare, ne interesează doar istoriile cu trei.

Ce se poate spune despre dimensiunile încolăcite? Să ne aducem aminte că în teoria M forma precisă a dimensiunilor rămase încolăcite,

spaţiul intern, determină atât valorile cantităţilor fizice precum sarcina electronului, cât şi natura interacţiilor dintre particulele elementare, adică forţele din natură. Lucrurile ar fi fost mai elegante dacă teoria M ar fi permis pentru dimensiunile încolăcite doar o singură formă, sau eventual câteva, din care să le putem cumva elimina pe toate, cu excepţia uneia, aşa încât să rămânem cu o singură posibilitate pentru legile aparente ale naturii. În schimb, există amplitudini de probabilitate pentru vreo 10^{500} spaţii interne diferite, fiecare conducând la legi şi valori ale constantelor fizice diferite.

Dacă se construiesc istorii ale universului de jos în sus, nu există niciun motiv ca universul să ajungă la spaţiul intern pentru interacţiile particulelor pe care îl observăm în realitate, modelul standard (al interacţiilor particulelor elementare). În schimb, în abordarea de sus în jos acceptăm faptul că există universuri cu toate spaţiile interne posibile. În unele universuri electronii au greutatea unor mingi de golf, iar forţa gravitaţională e mai puternică decât magnetismul. În universul nostru se aplică modelul standard, cu toţi parametrii săi. Se poate calcula pe baza condiţiei fără frontiere amplitudinea de probabilitate pentru spaţiul intern care conduce la modelul standard. Iar, în ceea ce priveşte probabilitatea ca universul să aibă trei dimensiuni spaţiale extinse, nu contează cât de mică e această amplitudine de probabilitate faţă de cea a altor posibilităţi, atâta vreme cât am constatat deja că modelul standard descrie universul nostru.

Teoria pe care o prezentăm în acest capitol e testabilă. În exemplele precedente am subliniat faptul că amplitudinile de probabilitate relative pentru universuri radical diferite, cum ar fi acelea cu alt număr de dimensiuni extinse, nu au importanţă. Amplitudinile de probabilitate relative pentru universuri învecinate (adică asemănătoare) sunt importante. Din condiţia fără frontiere rezultă că amplitudinea de probabilitate e maximă pentru istoriile în care universul ia naştere complet omogen. Amplitudinea e mai mică pentru universuri mai neregulate. Asta înseamnă că universul timpuriu trebuie să fi fost aproape omogen, doar cu mici neregularităţi. După cum am spus, putem observa aceste neregularităţi ca mici variaţii ale microundelor provenind din direcţii diferite pe cer. S-a văzut că ele sunt în perfect acord cu cerinţele generale ale teoriei inflaţiei; totuşi, e nevoie de măsurători mai precise pentru a distinge teoria de sus în jos de alte teorii, aşa încât ea să fie confirmată sau infirmată. Asemenea măsurători vor putea fi efectuate de sateliţi în viitor.

Cu secole în urmă oamenii credeau că Pământul e unic şi se află în centrul universului. Azi ştim că există sute de miliarde de stele numai în galaxia noastră, multe dintre ele având sisteme planetare, şi sute de miliarde de galaxii. Rezultatele prezentate în acest capitol arată că

însuşi universul nostru e doar unul din nenumărate altele, iar legile sale aparente nu sunt determinate în mod unic. Aceasta îi dezamăgeşte pesemne pe aceia care sperau că o teorie ultimă, o teorie a tot ce există, ar putea prezice natura fizicii obişnuite. Nu putem prezice trăsături individuale, cum sunt numărul de dimensiuni spaţiale extinse sau spaţiul intern care determină cantităţile fizice pe care le observăm (de pildă, masa şi sarcina electronului sau ale altor particule elementare). Folosim în schimb aceste numere pentru a selecta istoriile ce contribuie la sumele Feynman.

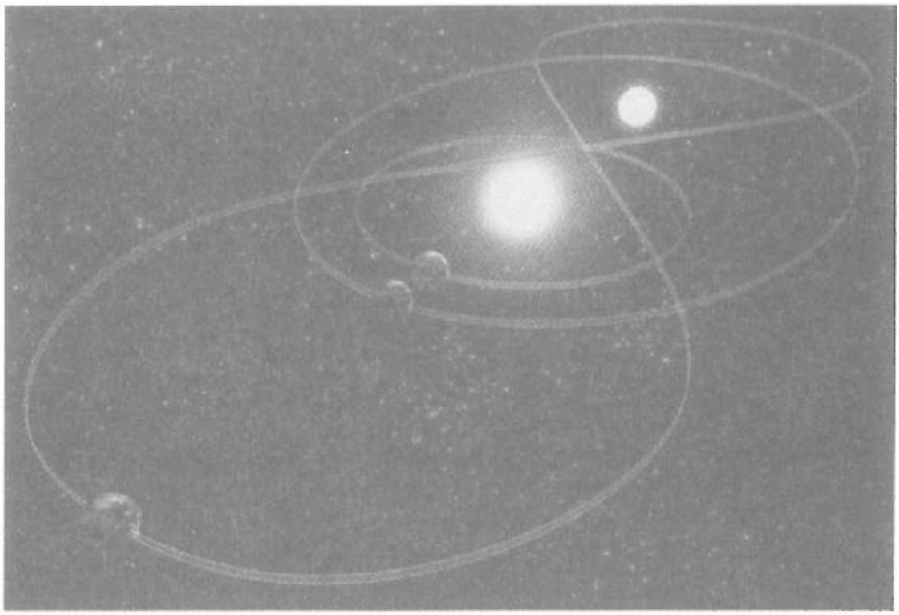
Se pare că ne aflăm într-un punct critic în istoria ştiinţei: trebuie să ne schimbăm ideile despre scopul unei teorii fizice şi despre condiţiile pentru a o accepta. Se pare că numerele fundamentale şi chiar forma legilor aparente ale naturii nu sunt impuse de logică sau de principii fizice. Parametrii pot lua multe valori, şi legile pot lua orice formă care conduce la o teorie matematică necontradictorie, iar primii chiar iau valori diferite, şi cele din urmă chiar iau forme diferite, în universuri diferite. Poate că asta nu satisface dorinţa noastră umană de a fi deosebiţi sau de a descoperi un ansamblu compact şi elegant care să conţină toate legile fizicii, dar aşa par să stea lucrurile în natură.

Se pare că există un peisaj vast de universuri posibile. Prin urmare, după cum vom vedea în capitolul următor, universurile în care poate exista viaţă ca a noastră sunt rare. Trăim într-unul în care viaţa e posibilă, dar, dacă universul ar fi doar puţin diferit, fiinţe ca noi n-ar putea exista. Cum explicăm acest reglaj fin? Este el dovada că universul a fost proiectat de un creator binevoitor? Sau ştiinţa poate oferi o altă explicaţie?

7.
Miracolul aparent

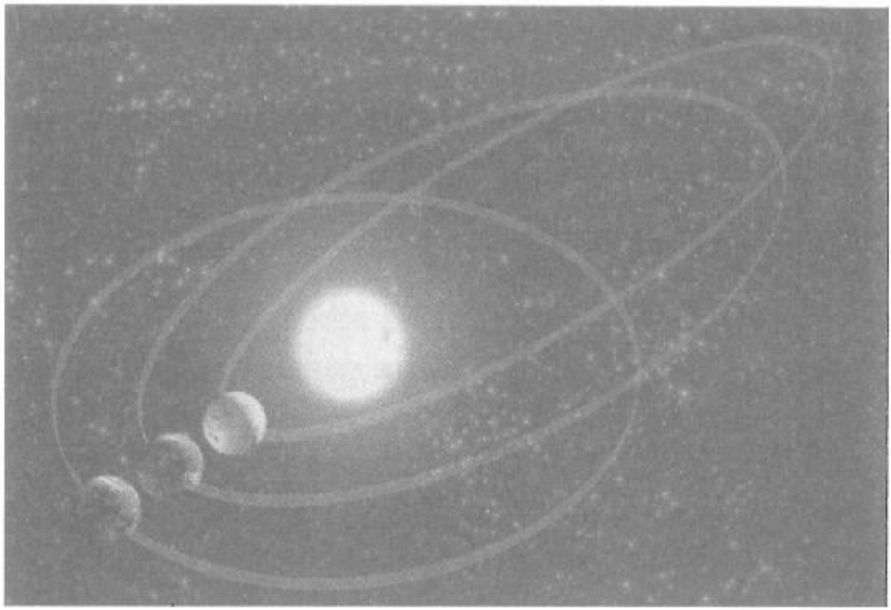
În tradiţia chinezească se vorbeşte despre un moment din epoca dinastiei Hsia (cca 2205–1782 î.Cr.) când mediul nostru cosmic s-a schimbat brusc. Zece sori au apărut pe cer. Oamenii sufereau cumplit din pricina căldurii, astfel încât împăratul a poruncit unui arcaş vestit să doboare sorii suplimentari. Arcaşul a fost răsplătit cu o pastilă care avea darul de a-l face nemuritor, dar soţia lui i-a furat-o. Pentru această vină a fost surghiunită pe Lună.

Chinezii aveau dreptate să considere că un sistem solar cu zece sori nu e prielnic vieţii oamenilor. Astăzi ştim că, deşi îţi oferă pesemne o ocazie bună să te bronzezi, sistemele solare cu mai mulţi sori nu permit probabil vieţii să se dezvolte. Motivele nu sunt atât de simple precum arşiţa pustiitoare imaginată în legenda chinezească. De fapt, o planetă se poate bucura de temperaturi plăcute când se roteşte în jurul mai multor sori, cel puţin pentru o vreme. Dar încălzirea uniformă pentru un timp îndelungat, condiţie ce pare necesară vieţii, ar fi puţin probabilă. Pentru a înţelege de ce, să vedem ce se întâmplă în cel mai simplu tip de sistem de sori multipli, unul cu doi sori, numit sistem binar. Aproape jumătate din stelele de pe cer aparţin unor asemenea sisteme. Dar chiar şi sistemele binare simple pot menţine numai anumite tipuri de orbite stabile, de tipul celor prezentate mai sus. În fiecare dintre aceste orbite vor exista probabil momente când planeta va fi ori prea fierbinte, ori prea rece pentru a permite viaţa. Situaţia este încă şi mai rea pentru sisteme cu mai mulţi sori.



ORBITE BINARE Planetele care orbitează în sisteme stelare binare au probabil o climă neospitalieră, în unele anotimpuri fiind mult prea cald, în altele, mult prea rece pentru viață.

Sistemul nostru solar are şi alte caracteristici „norocoase", fără de care formele de viaţă complexe n-ar fi putut apărea niciodată. De pildă, legile lui Newton permit orbitelor planetare să fie ori cercuri, ori elipse (elipsele sunt cercuri turtite, mai late de-a lungul unei axe şi mai înguste de-a lungul celeilalte). Gradul în care e turtită o elipsă este dat de ceea ce se numeşte excentricitatea ei, un număr între zero şi unu. O excentricitate aproape de zero înseamnă o figură asemănătoare cercului, iar o excentricitate aproape de unu înseamnă o figură foarte turtită. Pe Kepler îl nemulţumea ideea că planetele nu se mişcă pe cercuri perfecte, dar orbita Pământului are o excentricitate de doar 2%, ceea ce înseamnă că este aproape circulară. După cum vom vedea, acesta e un mare noroc.



EXCENTRICITĂȚI Excentricitatea ne spune cât de aproape de cerc este o elipsă. Orbitele circulare sunt mai prielnice vieții, pe când cele foarte alungite duc la variații foarte mari de temperatură între anotimpuri.

Variaţiile climatice sezoniere sunt determinate în principal de înclinarea axei de rotaţie a Pământului în raport cu planul orbitei sale în jurul Soarelui. În timpul iernii din emisfera nordică, de exemplu, Polul Nord este înclinat în sens opus Soarelui. Faptul că în acel moment Pământul se află la cea mai mică distanţă de Soare – 147 de milioane de kilometri, faţă de 152 de milioane de kilometri, cât e distanţa până la Soare la începutul lui iulie – are o influenţă neglijabilă asupra temperaturii, în comparaţie cu efectul înclinării. Dar, pe o planetă cu o excentricitate orbitală mai mare, variaţia distanţei până la Soare joacă un rol mult mai important. Pe Mercur, care are o excentricitate de 20%, temperatura este cu aproximativ 100 de grade Celsius mai mare când planeta se află cel mai aproape de Soare (periheliu) decât atunci când se află la cea mai mare distanţă de Soare (afeliu). Dacă excentricitatea orbitei terestre ar fi aproape unu, oceanele ar fierbe când ne-am afla cel mai aproape de Soare şi ar îngheţa atunci când ne-am afla departe, aşa încât nici vacanţa de vară, nici cea de iarnă n-ar fi prea plăcute. Excentricităţile orbitale mari nu sunt favorabile vieţii, prin urmare suntem norocoşi că avem o planetă cu o excentricitate orbitală aproape de zero.

Suntem de asemenea norocoşi în privinţa relaţiei dintre masa

Soarelui şi distanţa până la el. Aceasta pentru că masa unei stele determină cantitatea de energie emisă. Stelele cele mai mari au o masă de vreo sută de ori mai mare decât a Soarelui nostru, iar cele mai mici una de vreo sută de ori mai mică. Astfel, considerând aceeaşi distanţă Pământ-Soare, dacă Soarele nostru ar fi avut o masă cu numai 20% mai mare sau mai mică, Pământul ar fi fost mai fierbinte decât este acum Venus sau mai rece decât este acum Marte.

Pentru o stea dată, oamenii de ştiinţă definesc zona locuibilă ca pe regiunea îngustă în jurul stelei unde temperaturile sunt astfel încât să poată exista apă în stare lichidă. Zona locuibilă e numită uneori „zonă Goldilocks”{3}, deoarece condiţia să existe apă lichidă e echivalentă cu condiţia ca temperatura planetei să fie „tocmai bună” pentru dezvoltarea vieţii inteligente. Zona locuibilă din sistemul nostru solar e foarte îngustă. Din fericire pentru aceia dintre noi care reprezintă forme de viaţă inteligentă, Pământul se află în interiorul ei!

Newton credea că sistemul nostru solar, locuibil în chip straniu, „n-a răsărit din haos doar prin legile naturii”. El susţinea că ordinea în univers a fost „creată la început de Dumnezeu, iar apoi păstrată de El până în zilele noastre în aceeaşi stare”. E uşor de înţeles de ce credea asta. Numeroasele întâmplări improbabile care au conlucrat pentru a face cu putinţă existenţa noastră şi planul unei lumi propice omului ar fi într-adevăr de neînţeles dacă sistemul nostru solar ar fi singurul din univers. Dar, în 1992, a apărut prima observaţie confirmată privind o planetă orbitând o altă stea decât Soarele. Ştim acum că sunt sute de asemenea planete, şi puţini se îndoiesc că există nenumărate altele printre miliardele de stele din univers. Astfel, coincidenţele condiţiilor noastre planetare – un singur soare, combinaţia fericită dintre distanţa Pământ-Soare şi masa solară – nu mai sunt ieşite din comun şi par dovezi mai puţin convingătoare că Pământul a fost anume proiectat spre a fi pe plac oamenilor. Există tot felul de planete. Unele – sau cel puţin una – permit viaţa. Evident, atunci când fiinţele de pe o planetă care permite viaţa examinează lumea din jurul lor, vor constata că mediul lor satisface condiţiile necesare pentru ca ele să existe.

Putem transforma ultima afirmaţie într-un principiu ştiinţific: propria noastră existenţă impune reguli care determină din ce loc şi din ce moment avem posibilitatea să observăm universul. Altfel spus, existenţa noastră restricţionează caracteristicile acelui tip de mediu în care ne aflăm. Acesta se numeşte principiul antropic slab. (Vom vedea în curând de ce i-am ataşat adjectivul „slab”.) Un termen mai bun decât „principiu antropic” ar fi „principiu de selecţie”, fiindcă el se referă la felul în care faptul de a avea cunoştinţă de propria noastră existenţă impune reguli care selectează din toate mediile posibile doar pe acelea cu caracteristici ce permit viaţa.

Deşi pare să ţină mai curând de filosofie, principiul antropic slab

poate fi folosit pentru predicţii ştiinţifice. De exemplu, cât de bătrân e universul? După cum vom vedea în curând, pentru ca noi să existăm, universul trebuie să conţină elemente precum carbon, care sunt produse „gătind" elementele uşoare din interiorul stelelor. Carbonul trebuie apoi împrăştiat în spaţiu prin explozia unei supernove, iar în cele din urmă trebuie să fie condensat ca parte a unei planete aparţinând unui sistem solar dintr-o nouă generaţie. În 1961, fizicianul Robert Dicke a susţinut că procesul durează aproximativ zece miliarde de ani, deci existenţa noastră stabileşte faptul că universul trebuie să fie cel puţin atât de vechi. Pe de altă parte, universul nu poate fi mult mai bătrân de zece miliarde de ani, fiindcă într-un viitor îndepărtat tot combustibilul din stele se va fi consumat, iar subzistenţa noastră cere stele fierbinţi. Prin urmare, universul trebuie să aibă în jur de zece miliarde de ani. Aceasta nu e o predicţie foarte precisă, dar e adevărată – conform datelor actuale, big bang-ul a avut loc acum circa 13,7 miliarde de ani.

La fel ca în cazul vârstei universului, predicţiile antropice dau de regulă limite, ordine de mărime ale unor parametri fizici, nu stabilesc valorile lor exacte. Aceasta pentru că existenţa noastră, deşi nu pretinde probabil anumite valori precise ale unor parametri fizici, depinde adesea de condiţia ca asemenea parametri să nu se abată prea mult de la valoarea pe care le-o găsim în realitate. În plus, ne aşteptăm ca acele condiţii întâlnite în lumea noastră să fie tipice în domeniul permis de principiul antropic. De pildă, dacă doar excentricităţile orbitale mici, să zicem între 0 şi 0,5, permit viaţa, atunci o excentricitate de 0,1 n-ar trebui să ne mire, fiindcă printre planetele din univers un procentaj semnificativ au probabil excentricităţi orbitale atât de mici. Dar dacă s-ar fi dovedit că Pământul se mişcă pe un cerc aproape perfect, cu o excentricitate, să zicem, de 0,00000000001, aceasta ar fi făcut din Pământ o planetă cu totul aparte şi ne-ar fi îndemnat să încercăm să explicăm de ce trăim într-un loc atât de ieşit din comun. Această idee e numită uneori principiul mediocrităţii.

Coincidenţele fericite legate de forma orbitelor planetare, de masa Soarelui etc. se spune că ţin de „mediu" pentru că ele apar dintr-o şansă fericită pe care ne-o oferă mediul nostru, şi nu dintr-o potrivire norocoasă în legile fundamentale ale naturii. Vârsta universului este de asemenea un factor de mediu, deoarece în istoria universului există momente anterioare şi momente ulterioare, dar noi trebuie să trăim în această epocă, fiindcă ea e singura care permite viaţa. Coincidenţele care ţin de mediu sunt uşor de înţeles, pentru că habitatul nostru e doar unul dintre nenumăratele altele care există în univers, şi este evident că noi trebuie să trăim într-un habitat care permite viaţa.

Principiul antropic slab nu e foarte controversat. Există însă o formă

mai puternică pentru care vom pleda acum, deşi ea e privită cu neîncredere de unii fizicieni. Principiul antropic tare susţine că faptul că noi existăm impune constrângeri nu doar asupra *mediului*, dar chiar şi asupra *formei şi conţinutului posibile ale legilor naturii*. Ideea a apărut fiindcă nu numai caracteristicile particulare ale sistemului nostru solar, dar şi caracteristicile întregului univers par să favorizeze în mod straniu dezvoltarea vieţii umane, iar acest lucru e mult mai greu de explicat.

Povestea evoluţiei universului primordial, alcătuit din hidrogen, heliu şi puţin litiu, către un univers în care există cel puţin o lume cu viaţă inteligentă ca a noastră e una cu multe capitole. După cum am arătat mai sus, forţele din natură trebuiau să fie astfel încât elementele mai grele – în special carbonul – să poată fi produse din elementele primordiale şi să rămână stabile timp de cel puţin miliarde de ani. Acele elemente grele au apărut în furnalele pe care le numim stele, astfel că forţele trebuiau mai întâi să permită formarea stelelor şi galaxiilor. Acestea au crescut din seminţele micilor neomogenităţi din universul timpuriu, care era aproape perfect uniform, dar, din fericire, conţinea variaţii de densitate de aproximativ 1 la 100.000. Existenţa stelelor şi existenţa în interiorul stelelor a elementelor din care suntem alcătuiţi nu sunt însă suficiente. Dinamica stelelor trebuia să permită unora dintre ele să explodeze în cele din urmă şi, mai mult, să explodeze exact într-un fel în care elementele grele să fie împrăştiate în spaţiu. În plus, legile naturii trebuiau să dicteze ca acele resturi să se poată recondensa într-o nouă generaţie de stele înconjurate de planete ce încorporaseră elementele grele nou formate. După cum anumite evenimente au trebuit să se petreacă la începuturile Pământului pentru ca noi să putem apărea, la fel şi fiecare verigă a acestui lanţ a fost necesară pentru existenţa noastră. Dar, în cazul evenimentelor ce au avut ca rezultat evoluţia universului, asemenea evoluţii au fost guvernate de echilibrul dintre forţele fundamentale ale naturii, iar efectul lor combinat a fost tocmai acela care ne-a permis să existăm.

Unul dintre primii care au recunoscut că aceasta ar putea implica un grad înalt de şansă a fost Fred Hoyle în anii ’50. Hoyle credea că toate elementele chimice s-au format la început din hidrogen, pe care îl considera substanţa cu adevărat primordială. Hidrogenul are cel mai simplu nucleu atomic, alcătuit dintr-un proton, fie singur, fie în combinaţie cu unul sau doi neutroni. (Diferitele forme de hidrogen, sau de orice alt nucleu, având acelaşi număr de protoni, dar număr diferit de neutroni, se numesc izotopi.) Astăzi ştim că heliul şi litiul, atomi ale căror nuclee conţin doi şi respectiv trei protoni, au fost de asemenea primordial sintetizaţi, în cantităţi mai mici, pe când universul avea o vârstă de numai 200 de secunde. Viaţa însă depinde

de elemente mai complexe. Carbonul, baza întregii chimii organice, este cel mai important dintre acestea.

Deşi ne putem imagina organisme „vii", cum sunt calculatoarele inteligente, construite din alte elemente, de pildă siliciul, este greu de crezut că viaţa ar fi putut evolua *spontan* în absenţa carbonului. Motivele sunt de ordin tehnic, dar ţin de felul unic în care se leagă carbonul de alte elemente. Dioxidul de carbon, de exemplu, este gazos la temperatura camerei, iar biologia se foloseşte din plin de el. Deoarece siliciul se află imediat sub carbon în tabelul periodic al elementelor, el are proprietăţi chimice asemănătoare. Numai că dioxidul de siliciu, cuarţul, este mult mai folositor într-o colecţie de minerale decât în plămânii unei fiinţe. Poate că totuşi ar putea evolua forme de viaţă care se ospătează cu siliciu şi-şi rotesc ritmic cozile într-o piscină cu amoniac lichid. Dar nici măcar asemenea tipuri exotice de viaţă nu pot evolua doar din elementele primordiale, fiindcă aceste elemente pot forma numai doi compuşi stabili, hidrura de litiu, care e un solid cristalin incolor, şi hidrogenul gazos, compuşi care e puţin probabil să se reproducă sau măcar să se îndrăgostească. Apoi, este limpede că *noi* suntem o formă de viaţă bazată pe carbon, iar aceasta conduce la întrebarea cum au fost create carbonul, al cărui nucleu conţine şase protoni, şi celelalte elemente grele din corpul nostru.

Prima etapă se desfăşoară atunci când stelele bătrâne încep să acumuleze heliu, care e produs când două nuclee de hidrogen se ciocnesc şi fuzionează. Fuziunea este pentru stele modalitatea de a crea energia care ne încălzeşte. Doi atomi de heliu pot, la rândul lor, să se ciocnească şi să fuzioneze formând beriliul, un atom al cărui nucleu conţine patru protoni. Odată format beriliul, el poate în principiu fuziona cu un al treilea nucleu de heliu pentru a forma carbonul. Aceasta nu se întâmplă însă, fiindcă izotopul de beriliu astfel format se dezintegrează aproape imediat în nuclee de heliu.

Situaţia se schimbă când unei stele i se termină hidrogenul. Atunci, miezul stelei colapsează până când temperatura din centrul ei ajunge la aproximativ 100 milioane de grade Kelvin. În asemenea condiţii, nucleele se întâlnesc unele cu altele atât de des, încât unele nuclee de beriliu se ciocnesc cu nuclee de heliu înainte de a se dezintegra. Beriliul poate astfel să fuzioneze cu heliul şi să formeze un izotop de carbon, care e stabil. Dar de la carbonul astfel format mai e cale lungă până la apariţia ansamblurilor ordonate de compuşi chimici de genul celor care pot savura un pahar de Bordeaux, jonglează uimitor cu mingea sau îşi pun întrebări despre univers. Pentru ca fiinţe asemenea oamenilor să existe, carbonul trebuie să se mute din interiorul stelelor către regiuni mai prietenoase. Lucrul acesta se întâmplă, după cum spuneam, atunci când steaua, aflată la capătul ciclului ei de viaţă,

explodează ca o supernovă, eliberând carbonul şi alte elemente grele, ce se condensează apoi într-o planetă.

Acest proces de creare a carbonului se numeşte proces alfa triplu, deoarece „particula alfa" este un alt nume pentru nucleul izotopului de heliu implicat şi pentru că procesul cere ca trei asemenea nuclee să fuzioneze. Fizica obişnuită prezice că rata de producere a carbonului prin procesul alfa triplu trebuie să fie foarte mică. Ştiind acest lucru, în 1952 Hoyle a prezis că suma energiilor unui nucleu de beriliu şi unui nucleu de heliu trebuie să fie aproape exact egală cu energia unei anumite stări cuantice a izotopului de carbon format, o situaţie numită rezonanţă, a cărei existenţă ar creşte foarte mult rata unei reacţii nucleare. Pe atunci nu se cunoştea niciun asemenea nivel de energie, dar, bazându-se pe ideile lui Hoyle, William Fowler de la Caltech l-a căutat şi l-a găsit, oferind astfel un sprijin important perspectivei lui Hoyle privind formarea nucleelor complexe.

„Nu cred că vreun om de ştiinţă care a examinat dovezile nu va trage concluzia că legile fizicii nucleare au fost anume proiectate având în vedere consecinţele lor în interiorul stelelor", spunea Hoyle. La momentul acela nimeni nu ştia destulă fizică nucleară pentru a înţelege dimensiunile şansei ce rezultă din aceste legi fizice exacte. Cercetând validitatea principiului antropic tare, în ultimii ani fizicienii au început să se întrebe cum ar fi arătat universul dacă legile naturii ar fi fost diferite. Astăzi putem crea modele pe calculator care să ne spună cum depinde rata reacţiei alfa triple de tăria forţelor fundamentale din natură. Asemenea calcule arată că o modificare de 0,5% a forţei nucleare tari, sau de 4% a forţei electrice, ar distruge aproape tot carbonul sau aproape tot oxigenul din fiecare stea, iar astfel ar compromite posibilitatea vieţii aşa cum o cunoaştem. Dacă legile universului sunt uşor schimbate, condiţiile existenţei noastre dispar!

Examinând modelele de universuri pe care le generăm când modificăm în anumite feluri teoriile fizice, putem studia sistematic consecinţele schimbării legilor fizicii. Se dovedeşte că nu numai tăriile forţei nucleare tari şi a celei electromagnetice ne guvernează existenţa. Majoritatea constantelor fundamentale din teoriile noastre par fin reglate, în sensul că, dacă ar fi doar puţin modificate, universul ar fi diferit din punct de vedere calitativ, iar în multe cazuri neprielnic dezvoltării vieţii. Dacă, de pildă, cealaltă forţă nucleară, forţa slabă, ar fi fost mult mai slabă, în universul timpuriu tot hidrogenul s-ar fi transformat în heliu, deci n-ar mai fi apărut stele normale; dacă ar fi fost mult mai tare, în exploziile supernovelor n-ar mai fi fost expulzat învelişul exterior, deci spaţiul interstelar n-ar mai fi fost însămânţat cu elementele grele necesare pentru ca viaţa să se dezvolte pe planete. Dacă protonii ar fi cu 0,2% mai grei, ei s-ar dezintegra în neutroni,

destabilizând atomii. Dacă suma maselor tipurilor de cuarci care alcătuiesc protonul s-ar modifica cu doar 10%, ar exista mult mai puţine nuclee atomice stabile din care să putem fi constituiţi; de fapt, suma maselor cuarcilor pare în linii mari optimizată pentru a exista un număr cât mai mare de nuclee stabile.

Dacă presupunem că o planetă trebuie să se afle timp de câteva sute de milioane de ani pe o orbită stabilă pentru ca viaţa să evolueze pe ea, numărul dimensiunilor spaţiale este de asemenea fixat de existenţa noastră. Aceasta deoarece, conform legilor gravitaţiei, orbite eliptice stabile sunt posibile doar în spaţiul cu trei dimensiuni. Orbite circulare sunt posibile şi în alte dimensiuni, dar acelea, aşa cum se temea Newton, sunt instabile. În oricare alt număr de dimensiuni spaţiale decât trei, chiar şi cea mai mică perturbaţie, cum ar fi atracţia altor planete, poate scoate planeta de pe orbita ei circulară, făcând-o să se prăbuşească în spirală spre Soare sau să se îndepărteze, aşa încât fie am arde, fie am îngheţa. De asemenea, în mai mult de trei dimensiuni, forţa gravitaţională dintre două corpuri ar scădea mai rapid decât în trei dimensiuni. În trei dimensiuni, forţa gravitaţională scade la 1/4 din valoarea ei dacă distanţa se dublează. În patru dimensiuni ea scade la 1/8, în cinci dimensiuni la 1/16 şi aşa mai departe. Rezultă că, în mai mult de trei dimensiuni, Soarele n-ar mai putea exista în stare stabilă, aşa încât presiunea internă să echilibreze atracţia gravitaţională. El fie s-ar dezintegra, fie ar colapsa formând o gaură neagră, ambele situaţii fiindu-ne fatale. La scară atomică, forţele electrice s-ar comporta la fel ca forţele gravitaţionale. Asta înseamnă că electronii din atom fie ar zbura afară, fie s-ar prăbuşi în spirală spre nucleu. În ambele cazuri, atomii aşa cum îi cunoaştem noi n-ar putea exista.

Apariţia structurilor complexe pe care se bazează observatorii dotaţi cu inteligenţă pare să fie extrem de fragilă. Legile naturii formează un sistem extrem de fin reglat, şi nu se poate modifica aproape nimic în legile fizicii fără să se distrugă posibilitatea dezvoltării vieţii aşa cum o cunoaştem. Fără seria de coincidenţe uimitoare în detaliile precise ale legilor fizice, se pare că oamenii şi formele de viaţă asemănătoare n-ar fi putut niciodată apărea.

Cea mai impresionantă coincidenţă în reglajul fin se leagă de aşa-numita constantă cosmologică din ecuaţiile relativităţii generale ale lui Einstein. După cum am spus, în 1915, când şi-a formulat teoria, Einstein credea că universul e static, adică nu se contractă şi nu se dilată. Deoarece orice materie atrage altă materie, el a introdus în teorie o nouă forţă antigravitaţională pentru a compensa tendinţa universului de a se prăbuşi în sine însuşi. Spre deosebire de alte forţe, această forţă nu are o sursă, ci e intrinsecă structurii spaţiului-timp. Constanta cosmologică ne spune care e tăria acelei forte.

Când s-a descoperit că universul nu e static, Einstein a eliminat constanta cosmologică din teoria sa şi a considerat includerea ei drept cea mai mare gafă din viaţa lui. Dar, în 1998, observaţiile asupra unei supernove extrem de îndepărtate au arătat că universul se dilată accelerat, un efect imposibil fără un anume tip de forţă repulsivă acţionând în întreg spaţiul. Constanta cosmologică a renăscut. Deoarece acum ştim că valoarea ei nu este zero, se pune întrebarea de ce are valoarea pe care o are? Fizicienii au conceput explicaţii pentru această forţă pe baza efectelor cuantice, dar valoarea calculată de ei este cu 120 de ordine de mărime (un 1 urmat de 120 de zerouri) mai mare decât valoarea reală, obţinută din observaţiile asupra supernovei. Asta înseamnă fie că raţionamentul folosit în calcule a fost greşit, fie că există şi alte efecte care anulează în mod miraculos aproape total, până la o fracţiune minusculă, numerele calculate. Singurul lucru cert este că, dacă valoarea constantei cosmologice ar fi fost mai mare decât este, universul nostru ar fi explodat înainte ca galaxiile să fi apărut, şi – încă o dată – viaţa aşa cum o ştim ar fi fost imposibilă.

Cum putem explica aceste coincidenţe? Norocul în privinţa formei precise şi a naturii legilor fundamentale ale fizicii este o variantă cu totul diferită de noroc decât acela întâlnit la factorii de mediu. El nu poate fi explicat atât de simplu şi are consecinţe fizice şi filosofice mult mai profunde. Universul nostru şi legile lui par să aibă în spate un plan anume întocmit pentru a ne permite existenţa şi a lăsa foarte puţin spaţiu pentru modificări. Se pune deci în mod firesc întrebarea de ce lucrurile stau aşa.

Mulţi ar vrea ca noi să folosim aceste coincidenţe ca dovezi ale lucrării lui Dumnezeu. Ideea că universul a fost anume proiectat pentru a găzdui omenirea apare de mii de ani şi până în zilele noastre în teologii şi mitologii. În povestirile mitico-istorice mayaşe din *Popol Vuh*, zeii declară: „Nu ne vom bucura nici de slavă, nici de mărire din partea tuturor celor pe care le-am creat şi alcătuit până când nu vor exista oameni înzestraţi cu simţire.” Un text egiptean tipic datând de pe la 2000 î.Cr. spune: „Oamenii, turma Zeului, au fost dăruiţi cu tot ce le trebuie. El [zeul soare] a făcut cerul şi pământul spre folosul lor.” În China, filosoful taoist Lieh Yü-K’ou (cca 400 î.Cr.) a exprimat aceeaşi idee prin personajul unei povestiri, care spune: „Cerul face să crească cinci feluri de grâne şi zămisleşte neamurile peştilor şi păsărilor anume spre folosul nostru.”

În Cartea Facerii din Vechiul Testament se află ideea unui plan providenţial, dar perspectiva creştină tradiţională a fost de asemenea puternic influenţată de Aristotel, care credea „într-o lume naturală raţională care funcţionează după un plan anume alcătuit”. Teologul creştin medieval Toma de Aquino a folosit ideea lui Aristotel privind

ordinea din natură pentru a demonstra existenţa lui Dumnezeu. În secolul XVIII, un alt teolog creştin a mers şi mai departe, susţinând că şobolanii au coada albă ca să ne fie mai uşor să-i împuşcăm. O ilustrare modernă a perspectivei creştine a apărut cu câţiva ani în urmă, când cardinalul Christoph Schönborn, arhiepiscop al Vienei, a spus: „Acum, la începutul secolului XXI, confruntată cu afirmaţii ştiinţifice precum neodarwinismul şi ipoteza cosmologică a multiversului [mai multe universuri], inventate spre a ocoli copleşitoarele dovezi ale ştiinţei moderne privind un scop şi un plan, Biserica Catolică va apăra încă o dată natura umană proclamând că planul imanent din natură este real.” În cosmologie, dovada copleşitoare privind un scop şi un plan la care se referă cardinalul este reglajul fin al legilor fizicii prezentat mai sus.

Punctul de cotitură în respingerea ştiinţifică a ideii de univers centrat pe om a fost modelul copernican al sistemului solar, în care Pământul nu mai ocupă poziţia centrală. Ironia sorţii face ca perspectiva lui Copernic să fi fost una antropomorfică, el mergând până acolo încât să ne consoleze subliniind că, în ciuda modelului heliocentric, Pământul se află *aproape* în centrul universului: „Deşi [Pământul] nu este chiar în centru lumii, distanţa [până la acel centru] este neglijabilă faţă de distanţa până la stelele fixe.” Odată cu inventarea telescopului, observaţiile din secolul XVII, precum aceea că planeta noastră nu e singura în jurul căreia se roteşte o lună, au întărit ideea că nu ocupăm un loc privilegiat în univers. În secolele următoare, pe măsură ce se înmulţeau descoperirile despre univers, devenea tot mai limpede că planeta noastră nu e decât una ca oricare alta. Dar descoperirea relativ recentă a reglajului extrem de fin a atât de multe legi ale naturii i-a condus pe unii dintre noi înapoi la vechea idee că acest mare plan este opera unui mare proiectant. În Statele Unite, unde Constituţia interzice predarea religiei în şcoli, acest gen de idei a fost botezat proiectul inteligent, subînţelegându-se de aici că proiectantul este Dumnezeu.

Nu acesta e răspunsul ştiinţei moderne. Am văzut în capitolul 5 că universul nostru pare a fi doar unul dintre multe altele, fiecare cu legile lui. Ideea de multivers n-a fost inventată pentru a explica miracolul reglajului fin. Ea este o consecinţă a condiţiei fără frontiere, precum şi a multe alte teorii cosmologice moderne. Dar, dacă este corectă, atunci principiul antropic tare poate fi considerat efectiv echivalent cu cel slab, punând reglajul fin al legilor fizicii pe picior de egalitate cu factorii de mediu, căci el presupune că habitatul nostru cosmic – acum întreg universul observabil – este unul dintre multe altele, la fel cum sistemul nostru solar este unul dintre multe altele. Aceasta înseamnă că, aşa cum coincidenţele din sistemul nostru solar au devenit mai puţin surprinzătoare când s-a văzut că există miliarde

de asemenea sisteme, tot astfel reglajul fin din legile naturii poate fi explicat prin existenţa universurilor multiple. De-a lungul veacurilor mulţi oameni au pus pe seama lui Dumnezeu frumuseţea şi complexitatea naturii, care în vremurile acelea păreau să nu aibă explicaţii ştiinţifice. Dar, la fel cum Darwin şi Wallace au arătat că planul aparent miraculos al formelor de viaţă se poate ivi fără intervenţia unei fiinţe supreme, noţiunea de multivers poate explica reglajul fin al legilor fizicii fără să fie nevoie ca un creator binevoitor să fi făurit universul spre folosul nostru.

Einstein l-a întrebat odată pe asistentului său Ernst Strauss dacă Dumnezeu a avut de ales când a creat universul. Spre sfârşitul secolului XVI, Kepler era convins că Dumnezeu a creat universul după un principiu matematic perfect. Newton a arătat că aceleaşi legi care se aplică în cer se aplică şi pe Pământ, şi a elaborat ecuaţiile matematice care să exprime acele legi într-o formă atât de elegantă, încât ele au insuflat o fervoare aproape religioasă printre numeroşi savanţi din secolul XVIII, care păreau să se sprijine pe ele pentru a demonstra că Dumnezeu este matematician.

De la Newton şi mai ales de la Einstein încoace, scopul fizicii a fost să găsească principii matematice simple, de genul celor imaginate de Kepler, şi să creeze cu ele o teorie unificată a tot ce există, care să explice fiecare detaliu al materiei şi al forţelor pe care le observăm în natură. Pe la sfârşitul secolului XIX şi începutul secolului XX, Maxwell şi Einstein au unificat teoriile electricităţii, magnetismului şi luminii. În anii ’70 a fost creat modelul standard, o teorie unică pentru forţele nucleare tare şi slabă şi pentru forţa electromagnetică. Teoria corzilor şi teoria M au apărut din încercarea de a include şi forţa rămasă pe dinafară, gravitaţia. Scopul era acela de a găsi o singură teorie care să explice nu numai toate forţele, dar şi toate numerele fundamentale despre care am vorbit, cum sunt tăria forţelor şi masele şi sarcinile particulelor elementare. După cum spunea Einstein, exista speranţa să putem afirma că „natura e alcătuită aşa încât să fie logic posibil să formulezi legi atât de strict determinate, încât în cadrul acestor legi să apară numai constante perfect determinate raţional (nu constante a căror valoare numerică să poată fi modificată fără a distruge teoria)”. Este puţin probabil ca o teorie unică să conţină acel reglaj fin care ne permite să existăm. Însă dacă, în lumina progreselor recente, considerăm că visul lui Einstein este acela al unei teorii unice care să explice universul acesta şi celelalte universuri, cu întregul lor spectru de legi diferite, atunci acea teorie ar putea fi teoria M. Dar este oare teoria M unică ori e impusă de vreun principiu logic simplu? Putem oare răspunde la întrebarea *de ce teoria M*?

8.
Marele plan

Am arătat în această carte că regularităţile din mişcările corpurilor astronomice precum Soarele, Luna şi planetele sugerează faptul că acestea sunt guvernate de legi neschimbătoare şi nu sunt supuse capriciilor arbitrare ale zeilor şi demonilor. La început, existenţa unor asemenea legi a fost evidentă doar în astronomie (sau astrologie, care era considerată cam acelaşi lucru). Comportarea lucrurilor de Pământ este atât de complicată şi e supusă atâtor influenţe, încât vechile civilizaţii n-au putut discerne regularităţi sau legi clare care guvernează aceste fenomene. Treptat însă au fost descoperite noi legi şi în alte domenii decât astronomia, iar aceasta a condus la ideea de determinism ştiinţific: trebuie să existe un set complet de legi care, dacă cunoaştem starea universului la un moment dat, ne spun cum va evolua universul din acel moment. Aceste legi trebuie să fie valabile pretutindeni şi mereu, altminteri n-ar mai fi legi. Nu pot exista excepţii sau miracole. Zeii şi demonii nu pot interveni în funcţionarea universului.

În momentul când a apărut determinismul ştiinţific, legile newtoniene ale mişcării şi gravitaţiei erau singurele legi cunoscute. Am arătat cum a extins Einstein aceste legi în teoria relativităţii generale şi cum au fost descoperite alte legi care guvernează alte aspecte ale universului.

Legile naturii ne spun *cum* se comportă universul, dar nu răspund la întrebările *de ce*, puse la începutul acestei cărţi:

De ce există ceva mai degrabă decât nimic?
De ce existăm?
De ce acest set particular de legi, şi nu altele?

Unii vor afirma că răspunsul la aceste întrebări este că există un Dumnezeu care a ales să creeze universul în acest fel. E rezonabil să ne întrebăm cine sau ce a creat universul, dar, dacă răspunsul e Dumnezeu, atunci întrebarea nu face decât să trimită la o alta: cine l-a creat pe Dumnezeu? Din această perspectivă, se acceptă existenţa unei

entităţi care nu necesită un creator, entitate numită Dumnezeu. Acesta e cunoscut ca argumentul cauzei prime pentru existenţa lui Dumnezeu. Noi credem totuşi că se poate răspunde la aceste întrebări rămânând în domeniul ştiinţei, fără să invocăm vreo fiinţă divină.

Conform ideii de realism dependent de model prezentată în capitolul 3, creierele noastre interpretează input-ul provenind de la organele de simţ alcătuind un model al lumii exterioare. Ne făurim concepte mentale despre căminul nostru, despre copaci, despre alţi oameni, despre electricitatea care curge din prize, despre atomi, molecule şi alte universuri. Aceste concepte mentale sunt singura realitate pe care o cunoaştem. Nu există un test al realităţii independent de model. Rezultă de aici că un model bine construit îşi creează propria sa realitate. Un exemplu care ne poate ajuta să înţelegem problema realităţii şi creaţiei este Jocul Vieţii [Game of Life], inventat în 1970 de un tânăr matematician de la Cambridge pe nume John Conway.

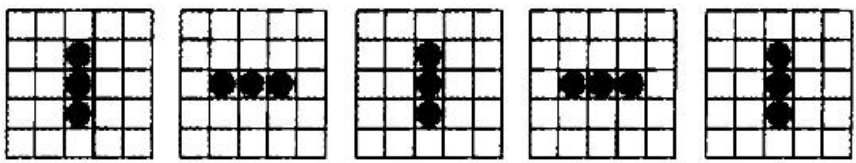
Cuvântul „joc" din Jocul Vieţii ne induce în eroare. Nu există învingători şi învinşi; de fapt, nu există jucători. Jocul Vieţii nu este cu adevărat un joc, ci un set de legi care guvernează un univers bidimensional. E un univers determinist: odată ce i-ai stabilit o configuraţie de început sau condiţiile iniţiale, legile determină tot ce se întâmplă în viitor.

Lumea imaginată de Conway este o reţea de pătrăţele, ca o tablă de şah, dar extinsă la infinit în toate direcţiile. Fiecare pătrăţel se poate afla în două stări: viu (gri în figura de la pagina 146) sau mort (alb). Fiecare pătrăţel are opt vecini: sus, jos, stânga, dreapta şi patru vecini pe diagonală. În această lume timpul nu e continuu, ci înaintează în paşi discontinui. Pornind de la un aranjament oarecare al pătrăţelelor vii şi moarte, numărul vecinilor vii determină ce se va întâmpla mai departe conform următoarelor reguli:

1. Un pătrăţel viu care are doi sau trei vecini vii va supravieţui (supravieţuire).
2. Un pătrăţel mort care are exact trei vecini vii devine o celulă vie (naştere).
3. În toate celelalte cazuri o celulă moare sau rămâne moartă. Dacă un pătrăţel viu nu are niciun vecin viu sau are unul singur, spunem că moare de singurătate; dacă are mai mult de trei vecini vii, spunem că moare din cauza suprapopulării.

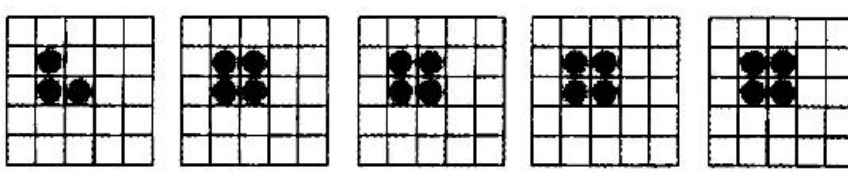
Asta e tot: date fiind orice condiţii iniţiale, legile produc generaţie după generaţie. Un pătrăţel viu izolat sau două pătrăţele vii adiacente mor în următoarea generaţie, fiindcă nu au destui vecini. Trei pătrăţele vii dispuse pe diagonală trăiesc ceva mai mult. După primul

pas, pătrăţelele de la capăt mor, lăsând doar pătrăţelul din mijloc, care va muri în următoarea generaţie. Fiecare linie diagonală de pătrăţele „se evaporă” în acest fel. Dar dacă trei pătrăţele vii sunt dispuse orizontal pe o linie, din nou centrul are doi vecini şi va supravieţui, pe când cele două capete vor muri, însă, în acest caz, celulele aflate deasupra şi sub centru devin vii. Linia se va transforma deci în coloană. În mod asemănător, la următoarea generaţie coloana se va transforma în linie şi aşa mai departe. Asemenea configuraţii oscilante se numesc „semnalizator pulsant” (de genul felinarelor folosite la transmiterea semnalelor Morse).



SEMNALIZATOR PULSANT Semnalizatoarele pulsante sunt tipuri simple de obiecte compuse din Jocul Vieţii.

Dacă trei pătrăţele vii sunt aşezate în formă de L, apare un nou comportament. În următoarea generaţie, pătrăţelul adiacent laturilor L-ului va duce la o naştere, formând un bloc 2x2. Blocul aparţine unui tip de figură numit „natură moarta”, deoarece ea trece nemodificată din generaţie în generaţie. Există multe tipuri de figuri care se schimbă în primele generaţii, dar apoi se transformă într-o natură moartă, mor sau revin la forma iniţială, pentru ca procesul să se reia.

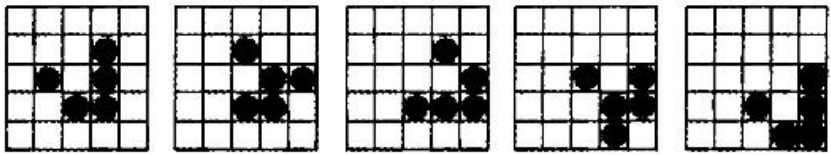


EVOLUŢIA SPRE NATURĂ MOARTĂ Unele obiecte compuse din Jocul Vieţii evoluează către o formă pe care regulile n-o mai schimbă apoi.

Există de asemenea figuri numite „planoare”, care se modifică în alte forme şi, după câteva generaţii, revin la forma iniţială, dar într-o poziţie cu un pătrăţel mai jos de-a lungul diagonalei. Dacă le urmăreşti în timp, ele par să se târască prin reţea. Atunci când aceste

planoare se ciocnesc, apar comportamente stranii, depinzând de forma fiecărui planor în momentul ciocnirii.

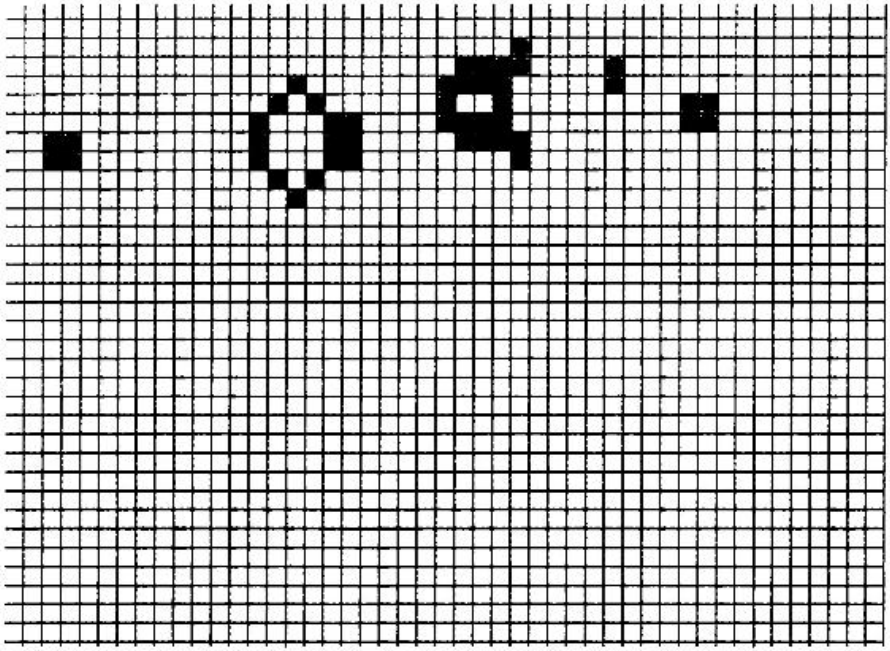
Ce face ca acest univers să fie interesant este faptul că deşi „fizica” lui fundamentală e simplă, „chimia” sa poate fi complicată. Obiectele compuse există la diferite scări. La cea mai mică scară, fizica fundamentală ne spune că există doar pătrăţele vii sau moarte. La scări mai mari, există planoare, semnalizatoare pulsante şi naturi moarte.



PLANOARE Planoarele trec prin aceste forme intermediare, apoi revin la forma inițială, deplasată cu un pătrățel de-a lungul diagonalei.

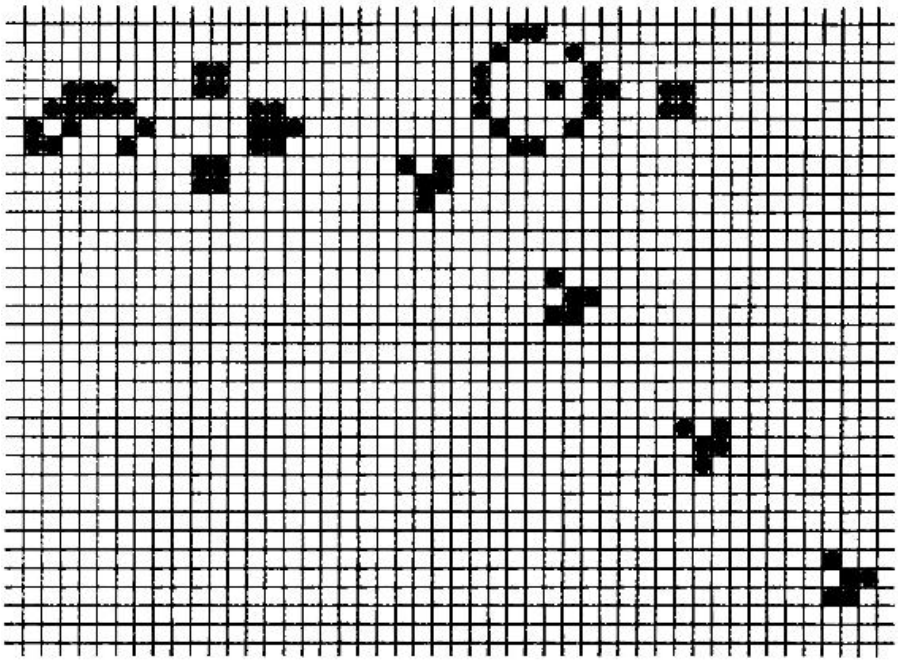
La scări încă şi mai mari, există obiecte încă mai complicate, de exemplu, lansatoare de planoare: figuri staţionare care dau periodic naştere unor noi planoare ce-şi părăsesc cuibul şi se îndreaptă în jos, pe diagonală.

Dacă urmăreşti un timp universul Jocului Vieţii la o scară anume, poţi deduce legile ce guvernează obiectele la acea scară. De pildă, la scara obiectelor de doar câteva pătrăţele poţi avea o lege de tipul „blocurile nu se mişcă deloc”, „planoarele se mişcă pe diagonală” şi diferite legi pentru cazul în care obiectele se ciocnesc. Poţi crea o întreagă fizică la orice nivel al obiectelor compuse. Legile vor scoate la iveală entităţi şi noţiuni care nu se găseau printre legile iniţiale. De pildă, noţiuni precum „ciocnire” sau „deplasare” nu existau în legile iniţiale. Acestea din urmă descriu doar viaţa şi moartea pătrăţelelor staţionare individuale. La fel ca în universul nostru, în Jocul Vieţii depinzi într-adevăr de modelul pe care îl foloseşti.



CONFIGURAŢIA INIŢIALĂ A LANSATORULUI DE PLANOARE
Lansatorul de planoare este de aproximativ zece ori mai mare decât un planor.

Conway şi studenţii săi au creat această lume pentru că voiau să ştie dacă un univers cu legi fundamentale atât de simple ca acelea pe care le-au definit poate conţine obiecte suficient de complexe încât să se reproducă. Există oare în lumea Jocului Vieţii obiecte compuse care, după ce urmează legile acelei lumi timp de câteva generaţii, vor da naştere altora de felul lor? Nu numai că John Conway şi studenţii săi au demonstrat că aşa ceva e posibil, dar ei au arătat şi că asemenea obiecte pot fi, într-un anume sens, inteligente! Ce înţelegem prin asta? Concret, ei au arătat că nişte conglomerate uriaşe de pătrăţele, care se autoreproduc, sunt „maşini Turing universale". Simplu spus, asta înseamnă că, pentru orice calcul pe care un computer din lumea noastră fizică poate în principiu să-l efectueze, dacă maşinii i se dă imput-ul potrivit – adică, i se oferă mediul adecvat din Jocului Vieţii – după câteva generaţii, maşina se va afla într-o stare din care poate fi citit un output care să corespundă rezultatului calculului efectuat de computer.



LANSATORUL DE PLANOARE DUPĂ 116 GENERAȚII Cu timpul, lansatorul de planoare își schimbă forma, emite un planor, apoi revine la forma și poziția inițiale. Procesul se repetă la infinit.

Pentru a ne face o idee despre felul în care funcţionează aşa ceva, să considerăm ce se întâmplă atunci când nişte planoare sunt emise spre un bloc simplu 2x2 de pătrăţele vii. Dacă planorul se apropie într-un anumit fel, blocul, care era staţionar, se va deplasa către sau dinspre sursa de planoare. Astfel, blocul poate simula o memorie de computer. De fapt, toate funcţiile elementare ale unui computer modern, ca porţile AND şi OR, pot fi create şi din planoare. În acest mod, la fel cum semnalele electrice sunt folosite într-un computer fizic, fluxurile de planoare pot fi folosite pentru a transmite şi procesa informaţia.

În Jocul Vieţii, ca şi în lumea noastră, figurile care se autoreproduc sunt obiecte complexe. O estimare bazată pe studii mai vechi ale matematicianului John von Neumann spune că dimensiunea minimă a unei figuri autoreproducătoare din Jocul Vieţii este de ordinul a zece bilioane de pătrăţele – aproximativ numărul de molecule dintr-o celulă umană.

Fiinţele vii pot fi definite ca sisteme complexe de dimensiuni limitate şi care se autoreproduc. Obiectele descrise mai sus satisfac condiţia de reproducere, dar probabil că nu sunt stabile: o mică perturbaţie din exterior va distruge probabil delicatul mecanism. Şi totuşi, e uşor de imaginat că legi puţin mai complicate ar permite

existenţa sistemelor complexe având toate atributele vieţii. Închipuiţi-vă o asemenea entitate, un obiect dintr-o lume de tip Conway. Ea ar răspunde stimulilor din mediul extern, deci ar părea că ia decizii. Cum s-ar privi oare o asemenea formă de viaţă pe ea însăşi? Ar fi conştientă? Răspunsurile la această întrebare sunt tranşant împărţite. Unii consideră conştiinţa de sine drept o trăsătură exclusiv umană. Ea îi înzestrează pe oameni cu liberul-arbitru, capacitatea de a alege între diferite cursuri ale acţiunii.

Cum putem spune dacă o fiinţă are liber-arbitru? Dacă ne întâlnim cu un extraterestru, cum putem şti dacă este numai un robot sau are o minte proprie? Comportamentul unui robot va fi complet determinat, spre deosebire de al unei fiinţe dotate cu liber-arbitru. Am putea deci în principiu identifica un robot pe baza faptului că acţiunile lui pot fi prevăzute. După cum am spus în capitolul 2, acest lucru ar fi extrem de greu dacă am avea de-a face cu o fiinţă mare şi complexă. Nu putem rezolva exact nici măcar ecuaţiile pentru trei sau mai multe particule care interacţionează între ele. Deoarece un extraterestru de mărimea unui om ar conţine aproximativ o mie de bilioane de bilioane de particule, chiar dacă ar fi un robot, ar fi imposibil să rezolvăm ecuaţiile şi să prezicem ce va face. Va trebui deci să spunem că orice fiinţă complexă are liber-arbitru – nu ca trăsătură fundamentală, dar aceasta e o teorie eficientă, recunoaşterea incapacităţii noastre de a efectua calculele care ne-ar permite să-i prezicem acţiunile.

Exemplul cu Jocul Vieţii al lui Conway arată că până şi un set foarte simplu de legi poate produce trăsături complexe, asemănătoare celor ale vieţii inteligente. Trebuie să existe multe seturi de legi cu astfel de proprietăţi. Ce anume selectează legile fundamentale (opusul legilor aparente) care guvernează universul? La fel ca în universul lui Conway, legile universului determină evoluţia sistemului cunoscându-i starea la orice moment de timp. În lumea lui Conway noi suntem creatorii – noi alegem starea iniţială a universului specificând obiectele şi poziţiile lor la începutul jocului.

Într-un univers fizic, echivalentul obiectelor de genul planoarele din Jocul Vieţii sunt corpurile de materie izolate, în orice set de legi care descriu o lume continuă ca a noastră va exista un concept de energie, care este o mărime ce se conservă, adică nu se modifică în timp. Energia spaţiului gol va fi constantă, independentă de timp şi de poziţie. Putem scădea această energie constantă a vidului măsurând energia oricărui volum de spaţiu în raport cu energia aceluiaşi volum de spaţiu gol, aşa încât putem considera această constantă zero. O cerinţă pe care trebuie s-o satisfacă toate legile a naturii este aceea că energia unui corp izolat înconjurat de spaţiu gol e pozitivă, ceea ce înseamnă că trebuie efectuat lucru mecanic pentru a asambla acel

corp. Dacă energia unui corp izolat ar fi negativă, el ar putea fi creat într-o stare de mişcare, astfel încât energia sa negativă să fie compensată exact de energia pozitivă datorată mişcării sale. Dacă acest lucru ar fi adevărat, atunci n-ar mai exista niciun motiv pentru care corpurile să nu apară oriunde şi oricând. Spaţiul gol ar fi deci instabil. Dar dacă crearea unui corp izolat consumă energie, o asemenea instabilitate nu poate să apară, fiindcă, după cum am mai spus, energia universului trebuie să rămână constantă. De aceasta e nevoie pentru ca universul să fie local stabil – aşa încât lucrurile să nu apară oriunde din nimic.

Dacă energia totală a universului trebuie să rămână întotdeauna zero, iar crearea unui corp consumă energie, cum poate fi creat din nimic un întreg univers? Acesta e motivul pentru care trebuie să existe o lege precum gravitaţia. Din moment ce gravitaţia e atractivă, energia gravitaţională e negativă: trebuie efectuat lucru mecanic pentru a separa un sistem legat prin gravitaţie, cum e cel al Pământului şi Lunii. Energia negativă poate echilibra energia pozitivă necesară pentru crearea materiei, dar nu e chiar atât de simplu. Energia gravitaţională negativă a Pământului, de exemplu, este mai mică decât a miliarda parte din energia pozitivă a particulelor de materie care alcătuiesc Pământul. Un corp cum e o stea va avea mai multă energie gravitaţională negativă, iar cu cât corpul e mai mic (cu cât sunt mai apropiate între ele diferitele sale părţi componente), cu atât va fi mai mare energia gravitaţională negativă. Dar, înainte ca aceasta să ajungă mai mare decât energia pozitivă a materiei, steaua va colapsa devenind o gaură neagră, iar găurile negre au energie pozitivă. De aceea spaţiul gol e stabil. Corpuri precum stelele sau găurile negre nu pot apărea din nimic. Dar un întreg univers poate.

Deoarece gravitaţia dă forma spaţiului şi timpului, ea permite spaţiului-timp să fie local stabil, dar global instabil. La scara întregului univers, energia pozitivă a materiei *poate fi* echilibrată de energia gravitaţională negativă, aşa încât nu există restricţii pentru crearea unor întregi universuri. Pentru că există o lege cum e gravitaţia, universul poate să se creeze – şi se va crea – pe sine însuşi din nimic, în modul pe care l-am prezentat în capitolul 6. Crearea spontană e motivul pentru care există ceva mai degrabă decât nimic, motivul pentru care universul există şi pentru care noi existăm. Nu e nevoie să apelăm la Dumnezeu să facă lumină şi să pună universul în mişcare.

De ce sunt legile fundamentale aşa cum le-am prezentat? Teoria finală trebuie să fie coerentă şi să prezică rezultate finite pentru mărimile măsurabile. Am văzut că trebuie să existe o lege a gravitaţiei, iar în capitolul 5 am văzut că, pentru ca teoria gravitaţiei să prezică rezultate finite, este necesar ca teoria să aibă ceea ce se numeşte supersimetrie între forţele din natură şi materia asupra căreia

ele acţionează. Teoria M este cea mai generală teorie supersimetrică a gravitaţiei. Din această cauză teoria M este *singurul* candidat pentru o teorie completă a universului. Dacă e finită – ceea ce rămâne de demonstrat –, ea va fi modelul unui univers care se creează pe sine însuşi. Noi trebuie să facem parte din acest univers, fiindcă nu există un alt model coerent.

Teoria M este teoria unificată pe care Einstein spera s-o găsească. Faptul că noi, oamenii – care suntem noi înşine ansambluri de particule fundamentale din natură –, am putut ajunge atât de aproape de înţelegerea legilor care ne guvernează şi care guvernează universul este un mare triumf. Dar poate că adevăratul miracol este acela că nişte consideraţii logice abstracte conduc la o teorie unică ce prezice şi descrie un univers vast, având acea uimitoare diversitate pe care o vedem. Dacă teoria va fi confirmă de observaţii, aceasta va fi încheierea încununată de succes a unor căutări care durează de peste 3000 de ani. Vom fi găsit marele plan.

Glosar

ABORDAREA DE JOS ÎN SUS: în cosmologie, ideea care se bazează pe presupunerea că există o singură istorie a universului, cu un punct de pornire bine definit, iar starea actuală a universului a evoluat de la acel început.

ABORDAREA DE SUS ÎN JOS: abordarea cosmologică în care urmărim istoriile universului „de sus în jos", adică din prezent spre trecut.

AMPLITUDINE DE PROBABILITATE: în teoria cuantică, un număr complex a cărui valoare absolută ridicată la pătrat dă o probabilitate.

ANTIMATERIE: fiecărei particule de materie îi corespunde o antiparticulă. Dacă cele două se întâlnesc, ele se anihilează reciproc, lăsând în urmă doar energie.

ATOM: unitatea elementară de materie obişnuită, constând dintr-un nucleu format din protoni şi neutroni în jurul căruia orbitează electroni.

BARION: tip de particulă elementară, cum sunt protonul sau neutronul, format din trei cuarci.

BIG BANG: începutul dens şi fierbinte al universului. Teoria big bang postulează că în urmă cu aproximativ 13,7 miliarde de ani partea de univers pe care o observăm azi avea o dimensiune de numai câţiva milimetri. Astăzi universul este mult mai mare şi mai rece, dar putem observa urme ale acelei perioade timpurii în radiaţia cosmică de fond de microunde care umple întreg spaţiul.

BOSON: particulă elementară ce transportă forţe, mediind interacţiunile fundamentale.

CONDIŢIA FĂRĂ FRONTIERE: cerinţa ca istoriile universului să fie suprafeţe închise fără frontiere.

CONSTANTA COSMOLOGICĂ: un parametru din ecuaţiile lui Einstein care dă spaţiului-timp tendinţa intrinsecă de a se extinde.

CUARC: particulă elementară cu sarcină electrică fracţionară ce resimte forţa tare. Protonii şi neutronii sunt fiecare alcătuiţi din câte trei cuarci.

ELECTRON: particulă elementară de materie care are sarcină electrică negativă şi e responsabilă de proprietăţile chimice ale elementelor.

FAZĂ: o poziţie în ciclul unei unde.

FERMION: particula elementară de materie.

FIZICA CLASICĂ: orice teorie din fizică în care se presupune că universul are o singură istorie, bine definită.

FORŢA ELECTROMAGNETICĂ: între cele patru forţe fundamentale din natură, a doua ca tărie. Acţionează între particule care posedă sarcini electrice.

FORŢA NUCLEARĂ SLABĂ: una dintre cele patru forţe fundamentale din natură. Forţa slabă e responsabilă pentru radioactivitate şi joacă un rol esenţial în formarea elementelor din stele în universul timpuriu.

FORŢA NUCLEARĂ TARE: cea mai tare dintre cele patru forţe fundamentale din natură. Această forţă acţionează între protonii şi neutronii din interiorul nucleului atomic. Ea asigură de asemenea stabilitatea protonilor şi neutronilor, care, la rândul lor, sunt alcătuiţi din particule şi mai mici, cuarcii.

FOTON: boson care mediază forţa electromagnetică. Particula cuantică de lumină.

GALAXIE: sistem vast alcătuit din stele, materie interstelară şi materie întunecată, menţinute laolaltă prin gravitaţie.

GAURĂ NEAGRĂ: regiune din spaţiu-timp care, datorită imensei sale forţe gravitaţionale, e ruptă de restul universului.

GRAVITAŢIE: cea mai slabă dintre cele patru forţe fundamentale din natură. Toate obiectele care au masă se atrag între ele datorită acestei forţe.

ISTORII ALTERNATIVE: formulare a teoriei cuantice în care probabilitatea oricărei observaţii este evaluată ţinând cont de toate istoriile posibile care au putut conduce la acea observaţie.

LEGI APARENTE: legile naturii pe care le observăm în universul nostru – legile celor patru forţe fundamentale şi parametrii ce caracterizează particulele elementare, cum sunt masa şi sarcina electrică – în opoziţie cu legile mai profunde ale teoriei M, care permit existenţa unor universuri diferite, cu legi diferite.

LIBERTATE ASIMPTOTICĂ: proprietate a forţei tari care o face să slăbească la distanţe mici. Prin urmare, deşi cuarcii sunt legaţi în nuclee de forţa tare, ei se pot mişca în interiorul nucleelor aproape liber, ca şi cum n-ar resimţi vreo forţă.

MEZON: tip de particulă elementară formată dintr-un cuarc şi un anti-cuarc.

MULTIVERS: ansamblu de universuri.

NEUTRIN: particulă elementară extrem de uşoară ce resimte numai forţa nucleară slabă şi gravitaţia.

NEUTRON: tip de barion neutru electric, care împreună cu protonul formează nucleul unui atom.

PRINCIPIUL ANTROPIC: ideea potrivit căreia putem trage concluzii

privind legile aparente ale fizicii pe baza faptului că există.

PRINCIPIUL DE INCERTITUDINE AL LUI HEISENBERG: lege a teoriei cuantice care afirmă că anumite perechi de proprietăţi fizice nu pot fi cunoscute simultan cu o precizie oricât de mare.

PROTON: tip de barion încărcat electric pozitiv, care împreună cu neutronul formează nucleul unui atom.

RENORMARE: tehnică matematică destinată să dea sens infiniţilor care apar în teoriile cuantice.

SINGULARITATE: un punct din spaţiu-timp în care o mărime fizică devine infinită.

SPAŢIU-TIMP: spaţiu matematic ale cărui puncte sunt caracterizate de coordonate atât spaţiale, cât şi temporale.

SUPERGRAVITAŢIE: teorie a gravitaţiei care posedă un tip de simetrie numit supersimetrie.

SUPERSIMETRIE: un tip subtil de simetrie ce nu poate fi asociat cu o transformare din spaţiul obişnuit. Una dintre consecinţele importante ale supersimetriei este că particulele de forţă şi cele de materie, deci forţele şi materia, sunt în realitate două faţete ale aceluiaşi lucru.

TEORIA CORZILOR: teorie fizică în care particulele sunt descrise ca moduri de vibraţie ale unor corzi având lungime, dar nu şi grosime.

TEORIA CUANTICĂ: teorie în care obiectele nu au o singură istorie bine definită.

TEORIA M: teorie fundamentală a fizicii, un candidat pentru teoria a tot ce există.

Mulţumiri

Universul are un plan, la fel ca o carte. Dar, spre deosebire de univers, o carte nu apare spontan din nimic. O carte are nevoie de un creator, iar acest rol nu cade doar pe umerii autorilor. Întâi de toate vrem să ne exprimăm recunoştinţa şi să mulţumim editorilor noştri, Beth Rashbaum şi Ann Harris, pentru răbdarea lor aproape infinită. Ele au fost elevele noastre când aveam nevoie de elevi, profesoarele noastre când aveam nevoie de profesori şi susţinătoarele noastre când aveam nevoie de susţinere. Ele s-au dedicat cu totul manuscrisului, şi au făcut-o cu voioşie, fie că discuţiile se purtau în jurul plasării unei virgule sau a imposibilităţii introducerii unei curburi negative a spaţiului într-un desen cu simetrie axială într-un spaţiu plat. Mulţumirile noastre se îndreaptă de asemenea către: Mark Hillery, care a citit cu amabilitate o mare parte din manuscris şi ne-a dat sfaturi preţioase; Carole Lowenstein, care ne-a fost de mare ajutor în tehnoredactare; David Stevenson, care a supervizat realizarea copertei; Loren Noveck, a cărei atenţie pentru detaliu ne-a salvat de câteva greşeli de tipar pe care n-am fi vrut să le vedem în carte. Lui Peter Bollinger îi mulţumim pentru că prin ilustraţiile lui a îmbinat arta cu ştiinţa, precum şi pentru sârguinţa cu care a asigurat corectitudinea fiecărui detaliu. Lui Sidney Harris îi mulţumim pentru minunatele caricaturi şi pentru marea fineţe cu care a înţeles problemele cu care sunt confruntaţi oamenii de ştiinţă. Într-un alt univers ar fi putut să fie fizician. Suntem de asemenea recunoscători agenţilor noştri, Al Zuckerman şi Susan Ginsburg, pentru susţinere şi încurajare. Două au fost mesajele pe care ni le-au transmis mereu: „Trebuia să fi terminat deja cartea” şi „Nu vă faceţi griji, până la urmă o s-o terminaţi”. Cu multă înţelepciune, au ştiut când să apeleze fie la unul, fie la celălalt. În fine, mulţumirile noastre se îndreaptă către asistenta personală al lui Stephen, Judith Croasdell, către informaticianul Sam Blackburn şi către Joan Godwin. Ne-au oferit nu numai sprijin moral, dar şi ajutorul practic şi tehnic fără de care n-am fi putut scrie această carte. În plus, au ştiut întotdeauna unde se află cele mai bune puburi.

În *Marele plan*, Stephen Hawking și Leonard Mlodinow își confruntă cititorii cu unele dintre cele mai profunde și grave întrebări pe care și le pot pune oamenii: Când și cum a apărut universul? De ce ne aflăm aici? De ce există ceva mai degrabă decât nimic? Care este natura realității? De ce legile naturii sunt atât de fin reglate încât să permită apariția unor ființe ca noi? Este oare aparentul „mare plan" al universului nostru dovada existenței unui creator, sau poate știința oferi o altă explicație?

Răspunsurile date aici de Stephen Hawking, unul dintre cei mai mari savanți ai timpurilor noastre, și de Leonard Mlodinow, fizician și scenarist al serialului *Star Trek*, pornesc de la ideea că universul nu are doar o singură istorie, ci toate istoriile sale posibile există simultan – idee care ne schimbă radical felul în care suntem obișnuiți să privim lumea.

Alte cărți de știință la Humanitas:

Stephen Hawking, *Scurtă istorie a timpului*
Stephen Hawking, *Universul într-o coajă de nucă*
Leonard Susskind, *Peisajul cosmic*
Steven Weinberg, *Visul unei teorii finale*
Werner Heisenberg, *Partea și întregul*

ISBN 978-973-50-3742-0

Foto copertă © Alkorphoto | Dreamstime.com

{1} *The Hitchhikers Guide to the Galaxy* este titlul unui serial SF radiodifuzat de BBC (1978), adaptat apoi pentru televiziune şi transformat în roman. Apare aici o rasă de fiinţe hiperinteligente care au construit un computer pentru a calcula răspunsurile la întrebările ultime privind viaţa, universul şi tot ce există. Atunci când răspunsul computerului a fost „42“, s-a propus construirea unui computer mai puternic, proiectat să găsească întrebările pentru acest răspuns. (*N. t.)*

{2} Flogisticul e o presupusă substanţă despre care, în secolul XVIII, se credea că explică procesul combustiei. Experienţele lui Lavoisier au arătat că flogisticul nu există. *(N. t.)*.

{3} Ideea de zonă Goldilocks provine dintr-o poveste pentru copii, *Goldilocks şi cei trei urşi*, în care o fetiţă găseşte o casă în care locuiesc trei urşi. Urşii aveau diferite lucruri: alimente, paturi etc. După ce le-a încercat pe toate, Goldilocks a stabilit că lucrurile unuia dintre urşi erau mereu într-o extremă (prea calde, prea mari etc.), lucrurile altuia erau în cealaltă extremă (prea reci, prea mici etc.), iar lucrurile celui de-al treilea erau tocmai bune. (N. t.)

Table of Contents

1. Misterul existenţei
2. Domnia legii
3. Ce este realitatea?
4. Istorii alternative
5. Teoria a tot ce există
6. Selectarea universului
7. Miracolul aparent
8. Marele plan
Glosar
Mulţumiri